

Curso 2009/10
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS/15
I.S.B.N.: 978-84-7756-951-0

ANA DÁCIL NOLASCO TORRES

**Emisiones e inmisiones
de compuestos orgánicos volátiles (COVs)
en Tenerife, Islas Canarias**

Director
NEMESIO PÉREZ RODRÍGUEZ



SOPORTES AUDIOVISUALES E INFORMÁTICOS
Serie Tesis Doctorales

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi mayor gratitud al Dr. Nemesio Pérez Rodríguez por darme la oportunidad de trabajar en este apasionante mundo de la investigación, por poner en mis manos todos los medios disponibles, por las horas que ha dedicado guiándome para hacer las cosas correctamente, por su confianza en mí, por su amistad, por todo. Gracias.

Mi agradecimiento al Dr. Pedro Hernández Pérez por toda la ayuda que me ha prestado y por todo lo que me ha enseñado. Gracias.

A mis compañeros de la División de Medioambiente del ITER; Gladys Melián gracias por tu ayuda y colaboración, Eleazar Padrón, Rayco Marrero, José Barrancos, David Calvo, Germán Padilla, Fátima Rodríguez y Margarita Díaz, gracias por su apoyo. Extiendo mi agradecimiento a los compañeros que han pertenecido a dicha división muchos de ellos grandes amigos: Nereida Rancel, Verónica Pérez, Jenny González, Pedro Salazar, Inés Galindo, Noemí Lima, María José Delgado, Luis Gómez, Pablo González, Miriam Martín, Celeste Coello, Delioma Oramas, José M^a Salazar y Lourdes Casto.

Mi agradecimiento por su colaboración y ayuda prestada también se extiende al Dr. Luis Galindo profesor del departamento de Química Analítica de la U.L.L y a Juan Pedro Díaz profesor del departamento de Física Básica de la U.L.L.

Mi agradecimiento por la información aportada, por su ayuda y colaboración también se extiende a María Flores encargada de parques y jardines, a José Timón Ingeniero Agrónomo, a Miguel Pintor responsable del servicio técnico de carreteras del cabildo, a los responsables y trabajadores de la empresa Villar responsable de la explotación del Túnel de la Avda Tres de Mayo, a Arturo Arévalo director del PIRS, Asensio Ayala técnico del PIRS, a ENMASA empresa explotadora de la EDAR de Santa Cruz y a Pedro Molina presidente de AGATE y dueño de la explotación ganadera muestreada.

A todos los estudiantes del ULL que colaboraron en el desarrollo de esta tesis doctoral; Samara Dionis, Manuel Triguero, Cristina Cruz, etc.

Por último, dar las gracias a mi familia, a mis padres Águeda y Francisco, a mis hermanos Fran y Rita, y a mi compañero Sito, por estar siempre ahí y por el gran apoyo recibido.

Gracias a todos y a los que haya podido olvidar.

Dácil Nolasco

Dedicatoria:

A mis padres Agueda y Francisco por ser el mejor ejemplo de personas que he tenido en mi vida.

A mis hermanos por su constante apoyo.

A mi abuela Aguedita por su amor.

Y mi compañero Sito por todo.

Sumario

	Páginas
Índice	ii
Índice de Figuras	vi
Índice de Tablas	xxii
Resumen	xxx
Abstract	xxxii

ÍNDICE

<i>Capítulo 1. Emisiones Antropogénicas de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)</i>	1
1.1. <i>Introducción</i>	3
1.2. <i>Procesos de Combustión</i>	14
1.3. <i>Producción, Tratamiento, Almacenamiento y Distribución de Combustibles Fósiles</i>	18
1.4. <i>Uso de Disolventes</i>	20
1.5. <i>Procesos Industriales</i>	22
1.6. <i>Procesos Biológicos</i>	24
1.7. <i>Datos de Emisiones</i>	26
1.8. <i>Estado del Arte</i>	28
1.9. <i>Objetivos de la Tesis Doctoral</i>	32
1.10. <i>Marco de Estudio</i>	33
1.11. <i>Estructura de esta Tesis Doctoral</i>	35
<i>Capítulo 2. Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la Atmósfera por el Tráfico de Vehículos por Carretera en la Isla de Tenerife</i>	39
2.1. <i>Introducción</i>	41
2.2. <i>Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos</i>	44
2.2.1. <i>Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife</i>	44
2.2.2. <i>Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados</i>	44
2.2.3. <i>Análisis de COVs no metanizados por Cromatografía de Gases Masas (GC/MS/MS)</i>	45
2.3. <i>Resultados y Discusión</i>	58
2.3.1. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por el Tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife.</i>	58
2.3.2. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por el Tráfico en otros ambientes urbanos</i>	96
2.4. <i>Conclusiones</i>	106
<i>Capítulo 3. Emisión no-controlada de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la Atmósfera por Vertederos en la Isla de Tenerife</i>	109
3.1. <i>Introducción</i>	111
3.2. <i>Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos</i>	115
3.2.1. <i>Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos en Tenerife</i>	115
3.2.2. <i>Medidas in-situ de la emisión de CO₂ a la atmósfera por vertederos</i>	116
3.2.3. <i>Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados</i>	127
3.2.4. <i>Análisis del biogás de vertedero por microcromatografía de gases</i>	127

3.2.5. <i>Tratamiento estadístico</i>	130
3.3. <i>Resultados y Discusión</i>	136
3.3.1 <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por el vertedero de Arico</i>	136
3.3.2. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por el vertedero de Lazareto</i>	167
3.3.3 <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por vertederos</i>	186
3.4. <i>Conclusiones</i>	195
Capítulo 4. <i>Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la Atmósfera por Plantas Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) en la Isla de Tenerife</i>	197
4.1. <i>Introducción</i>	200
4.2 <i>Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos</i>	202
4.2.1. <i>Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la EDAR de Santa Cruz de Tenerife</i>	202
4.2.2. <i>Medidas in-situ de la emisión de CO₂ en la interfase aire-agua residual</i>	203
4.2.3. <i>Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados</i>	203
4.2.4. <i>Tratamiento Estadístico</i>	205
4.3. <i>Resultados y Discusión</i>	205
4.3.1. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por la EDAR de Santa Cruz de Tenerife</i>	205
4.3.2. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por otras EDAR</i>	218
4.4. <i>Conclusiones</i>	222
Capítulo 5. <i>Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la Atmósfera por la actividad industrial en la Isla de Tenerife</i>	224
5.1. <i>Introducción</i>	226
5.2. <i>Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos</i>	227
5.2.1 <i>Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife</i>	227
5.2.2. <i>Medidas in-situ de la emisión de SO₂ a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife</i>	229
5.2.3. <i>Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados</i>	230
5.2.4. <i>Análisis de SO₂ en la baja troposfera de las proximidades de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife</i>	230
5.3. <i>Resultados y Discusión</i>	232
5.3.1. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife</i>	232
5.3.2. <i>Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por Centrales Termoeléctricas</i>	233
5.4. <i>Conclusiones</i>	237

<i>Capítulo 6. Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la Atmósfera por la actividad ganadera en la Isla de Tenerife</i>	240
6.1. Introducción	242
6.2. Toma de Muestras y procedimientos Analíticos	244
6.2.1. Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en Tenerife	244
6.2.2. Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados	246
6.3. Resultados y Discusión	246
6.3.1. Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por la actividad ganadera en Tenerife	246
6.3.2. Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por la actividad ganadera en otros ambientes de estudio	252
6.4. Conclusiones	254
 <i>Capítulo 7. Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la Atmósfera por Actividad Volcánica en la Isla de Tenerife</i>	 256
7.1. Introducción	258
7.2. Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos	265
7.2.1. Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide	265
7.2.2. Medidas in-situ de la emisión de CO ₂ a la atmósfera por volcanes	265
7.2.3. Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados	265
7.2.4. Análisis del gas volcánico por microcromatografía de gases	266
7.2.5. Tratamiento estadístico	266
7.3. Resultados y Discusión	266
7.3.1. Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por el volcán Teide	266
7.3.2. Emisión de COVs no metanizados a la Atmósfera por otros sistemas volcánicos	278
7.4. Conclusiones	288
 <i>Capítulo 8. Niveles de Inmisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados en la Baja Troposfera de la Isla de Tenerife</i>	 290
8.1. Introducción	292
8.2. Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos	293
8.2.1. Diseño Experimental y Cuantificación de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la Baja Troposfera de la Isla de Tenerife	293
8.2.2. Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados	297
8.3. Resultados y Discusión	297
8.3.1. Niveles de Inmisión de COVs no metanizados en la Baja Troposfera	297
8.3.2. Niveles de Inmisión de COVs no metanizados a escala urbana o regional	319

<i>8.3.3. Niveles de Inmisión de COVs no metanizados en la Baja Troposfera de la Isla de Tenerife</i>	348
<i>8.3.4. Distribución Vertical de los Niveles de Inmisión de COVs no metanizados en la Baja Troposfera de la Isla de Tenerife</i>	392
<i>8.4. Conclusiones</i>	410
<i>Capítulo 9. Conclusiones Generales y Trabajos Futuros</i>	414
<i>Bibliografía</i>	420
<i>Anexos</i>	CD
<i>Anexo I Datos de campo y estimación de la emisión de COVs no metanizados por el tráfico de vehículos por carretera en Tenerife</i>	CD
<i>Anexo II Datos de Intensidades Medias Diarias (IMD) de tráfico para el año 1998, Cabildo de Tenerife y datos de IMD de tráfico de vehículos del Instituto Canario de Estadística (ISTAC) para el año 2006</i>	CD
<i>Anexo III Mapas de distribución espacial de COVs en Solfataras y volcán Cerro Negro</i>	CD
<i>Anexo IV Publicaciones derivadas de esta Tesis Doctoral</i>	CD

Índice de Figuras

Nº de Figura	Título de la Figura	Página
Figura 1.1.-	Papel que juegan los COVs en la formación de ozono troposférico y la conversión de NO a NO ₂ , para su posterior conversión a O ₃ o HNO ₃ , elemento que juega un rol importante en la deposición de lluvia ácida (Finlayson-Pitts & Pitts, 1997; Atkinson, 2000).	10
Figura 1.2.-	Quema de rastrojos en un campo valenciano (Vizcaino, 2004).	10
Figura 1.3.-	Variación temporal de la en la producción de sustancias que agotan la capa estratosférica de ozono. (Agencia Europea del Medio Ambiente 2001).	12
Figura 1.4.-	Principales fuentes de COVs sin incluir automóviles e industrias (<i>Anuario</i> Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), 2000).	13
Figura 1.5.-	Foto satélite de Tenerife.	34
Figura 2.1.-	Vista panorámica del interior del Túnel de la Avda Tres de Mayo en el momento del estudio.	43
Figura 2.2.-	Toma de muestras del aire ambiente en el interior del Túnel de la Avenida Tres de Mayo.	44
Figura 2.3.-	Fotografía en detalle de un canisters, botellas de acero inoxidable, cuyo interior está electropulido y en el cual la muestra del aire ambiente se introduce mediante vacío.	45
Figura 2.4.-	Foto panorámica del cromatógrafo de gases GC/MS/MS modelo VARIAN Saturn 2000.	46
Figura 2.5.-	Cromatograma de COVs no metanizados presentes en el aire-ambiente del Túnel de la Avda. Tres de Mayo	47
Figura 2.6.-	Diagrama del sistema GC/MS/MS	48
Figura 2.7.-	Espectro de masas del benceno presente en una muestra tomada en el aire-ambiente del Túnel de la Avda. Tres de Mayo	50
Figura 2.8.-	Distribución espacial de la concentración de benceno en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	62
Figura 2.9.-	Distribución espacial de la concentración de tolueno en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	62
Figura 2.10.-	Distribución espacial de la concentración de etilbenceno en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	63

Figura 2.11.-	Distribución espacial de la de concentración de xilenos en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	63
Figura 2.12.-	Distribución espacial de la concentración de BTEX en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	64
Figura 2.13	Distribución espacial de la concentración de Radicales bencénicos en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	64
Figura 2.14.-	Distribución espacial de la concentración de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	61
Figura 2.15.-	Distribución espacial de la concentración de Hidrocarburos halogenados en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	65
Figura 2.16.-	Distribución espacial de la concentración de COVs no metanizados totales en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.	66
Figura 2.17.-	Variaciones temporales de la concentración de benceno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas (desde la 06:00 AM del 17/09/03 hasta las 05:00 AM del 18/09/03).	67
Figura 2.18.-	Variaciones temporales de la concentración de benceno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	73
Figura 2.19.-	Variaciones temporales de la concentración de tolueno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio	73

	de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	
Figura 2.20.-	Variaciones temporales de la concentración de etilbenceno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	74
Figura 2.21.-	Variaciones temporales de la concentración de xilenos en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	74
Figura 2.22.-	Variaciones temporales de la concentración de BTEX en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	75
Figura 2.23.-	Variaciones temporales de la concentración de radicales bencénicos en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	75
Figura 2.24.-	Variaciones temporales de la concentración de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tfe, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de	76

	octubre de 2004 (verde)].	
Figura 2.25	Variaciones temporales de la concentración de Hidrocarburos halogenados en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tfe, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	76
Figura 2.26.-	Variaciones temporales de la concentración de COVs totales en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].	77
Figura 2.27.-	Mapa con las principales carreteras de la Isla de Tenerife	81
Figura 2.28.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de benceno en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	83
Figura 2.29.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de tolueno en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	84
Figura 2.30.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de etilbenceno en las principales carreteras de la isla de Tenerife. (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	86
Figura 2.31.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de xilenos en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	87
Figura 2.32.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de BTEX en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	88
Figura 2.33.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de radicales bencénicos en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	90

Figura 2.34.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	91
Figura 2.35.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de Hidrocarburos halogenados en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	93
Figura 2.36.-	Distribución espacial de los principales puntos de emisión de COVs totales en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).	95
Figura 3.1.-	Diagrama de flujo de los distintos componentes que intervienen en la dinámica de un vertedero considerado como un reactor bioquímico (Cossu, 1997).	112
Figura 3.2.-	Diagrama del sistema de control de gases de un vertedero y flujo de emisión controlada y “NO” controlada de un vertedero.	113
Figura 3.3.-	Esquema de los procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica contenida en los RSU, que tiene lugar en un vertedero.	114
Figura 3.4.-	Esquema del sistema de medida para la determinación <i>in situ</i> de la emisión biogénica No-controlada de biogas a través de la superficie del vertedero y obtención de la pendiente de la curva medida del flujo difuso de CO ₂ .	118
Figura 3.5.-	Esquema del sistema calibración del sensor de IR mediante la utilización de un Standard certificado.	119
Figura 3.6.-	Esquema idealizado de la cámara de acumulación, volumen de control de geometría regular.	120
Figura 3.7.-	Representación gráfica de la dependencia de la constante de la cámara de acumulación con la temperatura a 0 m, vertedero de Arico y Lazareto.	125
Figura 3.8.-	Esquema del sistema de toma de muestra desde el interior de la cámara de acumulación y fotografía de una medida de flujo en la cobertera superficial del vertedero de Lazareto mediante el uso de NDIR (sensor de infrarrojo no dispersivo).	127
Figura 3.9.-	Esquema de la toma de muestra de biogas mediante el uso de vacutainers mediante la técnica de desplazamiento del agua destilada desarrollada por Hinkle y Kilburn, 1979.	128

Figura 3.10.-	Diagrama del micro-cromatógrafo de gases de cuatro canales modelo VARIAN Quad CP2003P empleado en la determinación de la composición química del “biogas” o “gas” del área estudiada.	129
Figura 3.11.-	Esquema de la transformación de los datos originales en factores normales o “normal scores”.	134
Figura 3.12.-	Esquema de los pasos necesarios para la obtención de un mapa de distribución espacial mediante SGS.	136
Figura 3.13.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de benceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	138
Figura 3.14.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de tolueno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	139
Figura 3.15.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de etilbenceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	139
Figura 3.16.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de m+p xilenos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	140
Figura 3.17.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	141
Figura 3.18.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de BTEX a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	142
Figura 3.19.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	143
Figura 3.20.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de Hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	144
Figura 3.21.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	144
Figura 3.22.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CFC a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	145
Figura 3.23.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de COVs a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	146
Figura 3.24.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlados de CO ₂ a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	148

Figura 3.25.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CH ₄ a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.	149
Figura 3.26.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de benceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	150
Figura 3.27.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de tolueno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	152
Figura 3.28.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de etilbenceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	153
Figura 3.29.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de m+p xilenos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	154
Figura 3.30.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	155
Figura 3.31.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de BTEX a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	156
Figura 3.32.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	157
Figura 3.33.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	158
Figura 3.34.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de Hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	158
Figura 3.35.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CFC a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	160
Figura 3.36	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de COVs a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	160
Figura 3.37.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CO ₂ a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	162
Figura 3.38.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CH ₄ a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.	162
Figura 3.39.-	Imagen de uno de los pozos del sistema de extracción de biogás del vertedero de Lazareto.	168

Figura 3.40.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de benceno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	169
Figura 3.41.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de tolueno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	170
Figura 3.42.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de etilbenceno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	171
Figura 3.43.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de m+p xilenos a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	172
Figura 3.44.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	173
Figura 3.45.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de BTEX a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	174
Figura 3.46.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	175
Figura 3.47.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	176
Figura 3.48.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	177
Figura 3.49.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CFC a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	177
Figura 3.50.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de COVs a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	178
Figura 3.51.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CO ₂ a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	179
Figura 3.52.-	Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CH ₄ a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.	180
Figura 4.1.-	Foto aérea de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife.	202
Figura 4.2.-	Esquema del sistema de medida para la determinación <i>in situ</i> de la emisión biogénica desde la EDAR de Buenos Aires. Variante del método de la cámara de acumulación.	203

Figura 4.3.-	Toma de una muestra del aire ambiente en la interfase aire-agua residual del interior de la cámara de acumulación en la planta de agua residual (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife.	204
Figura 4.4-	Toma de muestra de gas en el aire ambiente superficial de la Planta Depuradora de Agua Residual (EDAR) mediante el uso canisters de acero inoxidable previamente evacuados al vacío.	205
Figura 5.1.-	Vista de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife.	227
Figura 5.2.-	Vista general de la unidad móvil para la medida de contaminantes atmosféricos ubicado en las instalaciones del ITER.	228
Figura 5.3.-	Vista en detalle del COSPEC, instrumento utilizado para la monitorización remota de las emisiones de SO ₂ y esquema del sistema de media en posición móvil-terrestre para el seguimiento de SO ₂ .	229
Figura 6.1.-	Vista del interior de la vaquería durante el periodo de estudio.	243
Figura 6.2.-	Toma de muestras de COVs no metanizados en el interior de la vaquería durante el periodo de estudio.	244
Figura 6.3.-	Evolución temporal de COVs en el interior de la vaquería durante el periodo de estudio.	245
Figura 6.4.-	Evolución temporal de COVs en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	245
Figura 6.5.-	Evolución temporal de benceno en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	247
Figura 6.6.-	Evolución temporal de tolueno en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	248
Figura 6.7.-	Evolución temporal de etilbenceno en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	248
Figura 6.8.-	Evolución temporal de xilenos en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	249
Figura 6.9.-	Evolución temporal de BTEX en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	249
Figura 6.10.-	Evolución temporal de Radicales bencénicos en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	250
Figura 6.11.-	Evolución temporal de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.	250
Figura 7.1.-	Manifestaciones gaseosas que pueden tener lugar a través de los terrenos volcánicos.	259
Figura 7.2.-	Localización de las tres dorsales insulares (Dorsal Noreste, Dorsal Noroeste y Dorsal Sur), las Cañadas y en el centro de la isla el Complejo Teide-Pico Viejo.	260

Figura 7.3.-	Visión panorámica del Complejo Teide-Pico Viejo y las Cañadas.	261
Figura 7.4.-	Procesos secundarios que pueden modificar la composición química de los gases magmáticos durante su ascenso hacia la superficie. Los gases magmáticos modificados que alcanzan la superficie se denominan gases volcánicos.	262
Figura 7.5.-	Distribución espacial de la emisión difusa de benceno a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	268
Figura 7.6.-	Distribución espacial de la emisión difusa de tolueno a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	269
Figura 7.7.-	Distribución espacial de la emisión difusa de etilbenceno a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	270
Figura 7.8.-	Distribución espacial de la emisión difusa de xilenos a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	271
Figura 7.9.-	Distribución espacial de la emisión difusa de BTEX a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	272
Figura 7.10.-	Distribución espacial de la emisión difusa de radicales bencénicos a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	273
Figura 7.11.-	Distribución espacial de la emisión difusa de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	274
Figura 7.12.-	Distribución espacial de la emisión difusa de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	275
Figura 7.13.-	Distribución espacial de la emisión difusa de COVs a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	276
Figura 7.14.-	Distribución espacial de la emisión difusa de CO ₂ a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.	277
Figura 8.1.-	Localización de los tres puntos de observación localizados en (1) la zona urbana-industrial de Santa Cruz de Tenerife, (2) el Polígono Industrial de Granadilla, y (3) el valle de La Orotava.	294
Figura 8.2.-	Localización de los quince puntos de observación ubicados en las inmediaciones de la Refinería de petróleo de Santa Cruz con sus correspondientes niveles de inmisión de tolueno en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, determinados en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife a las 12 PM del 16 de junio de 2005.	295
Figura 8.3.-	Perfiles realizados en la vertiente Norte, Sureste y Sur de la isla de Tenerife para evaluar la distribución espacial los niveles de inmisión de COVs no metanizados con respecto a la altura.	296

Figura 8.4.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de benceno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	350
Figura 8.5.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de tolueno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	350
Figura 8.6.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de etilbenceno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	350
Figura 8.7.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de m+p xileno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	351
Figura 8.8.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de o-xileno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	351
Figura 8.9.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de BTEX en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	351
Figura 8.10.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de radicales bencénicos en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	352
Figura 8.11.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	352
Figura 8.12.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	352
Figura 8.13.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de CFC en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	353
Figura 8.14.-	Diagramas de barras de la distribución temporal de COVs totales en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.	353
Figura 8.15.-	Distribución de la concentración de benceno en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	354
Figura 8.16.-	Distribución de la concentración de xilenos en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	354
Figura 8.17.-	Distribución de la concentración de BTEX en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	355

Figura 8.18.-	Distribución de la concentración de radicales bencénicos en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	355
Figura 8.19.-	Distribución de la concentración de hidrocarburos aromáticos no halogenados en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	356
Figura 8.20.-	Distribución de la concentración de hidrocarburos halogenados en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	356
Figura 8.21.-	Distribución de la concentración de CFC en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	357
Figura 8.22.-	Distribución de la concentración de COVs totales en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.	357
Figura 8.23.-	Distribución temporal de benceno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	360
Figura 8.24.-	Distribución temporal de tolueno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	360
Figura 8.25.-	Distribución temporal de etilbenceno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	360
Figura 8.26.-	Distribución temporal de m+p xileno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	361
Figura 8.27.-	Distribución temporal de o-xileno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	361
Figura 8.28.-	Distribución temporal de BTEX en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	361
Figura 8.29.-	Distribución temporal de radicales bencénicos en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	362
Figura 8.30.-	Distribución temporal de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	362
Figura 8.31.-	Distribución temporal de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	362
Figura 8.32.-	Distribución temporal de CFC en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	363

Figura 8.33.-	Distribución temporal de COVs totales en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.	363
Figura 8.34.-	Concentración de benceno en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	365
Figura 8.35.-	Concentración de Xilenos en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	365
Figura 8.36.-	Concentración de BTEX en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	366
Figura 8.37.-	Concentración de Radicales bencénicos en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	366
Figura 8.38.-	Concentración de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava	367
Figura 8.39.-	Concentración de Hidrocarburos halogenados en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	367
Figura 8.40.-	Concentración de CFC en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	368
Figura 8.41.-	Concentración de COVs totales en $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.	368
Figura 8.42.-	Distribución temporal de benceno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	370
Figura 8.43.-	Distribución temporal de tolueno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	370
Figura 8.44.-	Distribución temporal de etilbenceno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	371
Figura 8.45.-	Distribución temporal de m+p xileno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	371
Figura 8.46.-	Distribución temporal de o-xileno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	371
Figura 8.47.-	Distribución temporal de BTEX en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	372

Figura 8.48.-	Distribución temporal de radicales bencénicos en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	372
Figura 8.49.-	Distribución temporal de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de estudio en el baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	372
Figura 8.50.-	Distribución temporal de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	373
Figura 8.51	Distribución temporal de CFC en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	373
Figura 8.52.-	Distribución temporal de COVs totales en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.	373
Figura 8.53.-	Distribución espacial de la concentración de benceno en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	375
Figura 8.54.-	Distribución espacial de la concentración de Xilenos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	376
Figura 8.55.-	Distribución espacial de la concentración de BTEX en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	376
Figura 8.56.-	Distribución espacial de la concentración de radicales bencénicos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	377
Figura 8.57.-	Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos aromáticos no halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	377
Figura 8.58.-	Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	378
Figura 8.59.-	Distribución espacial de la concentración de CFC en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	378
Figura 8.60.-	Distribución espacial de la concentración de COVs totales en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.	379
Figura 8.61.-	Evolución temporal de la concentración de benceno en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	382

Figura 8.62.-	Evolución temporal de la concentración de tolueno en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	382
Figura 8.63.-	Evolución temporal de la concentración de etilbenceno en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	383
Figura 8.64.-	Evolución temporal de la concentración de xilenos en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	383
Figura 8.65.-	Evolución temporal de la concentración de BTEX en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	384
Figura 8.66.-	Evolución temporal de la concentración de radicales bencénicos en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	384
Figura 8.67.-	Evolución temporal de la concentración de hidrocarburos aromáticos no halogenados en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	385
Figura 8.68.-	Evolución temporal de la concentración de hidrocarburos halogenados en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	385
Figura 8.69.-	Evolución temporal de la concentración de CFC en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	386
Figura 8.70.-	Evolución temporal de la concentración de COVs totales en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de	386

	Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.	
Figura 8.71.-	Valores promedio de inmisión de COVs totales ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a las 12 am en los alrededores de la Refinería de Petróleos en Santa Cruz de Tenerife.	390
Figura 8.72.-	Valores promedio de inmisión de COVs totales ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a las 12 pm en los alrededores de la Refinería de Petróleos en Santa Cruz de Tenerife.	391
Figura 8.73.-	Distribución vertical de los valores de concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil norte de la isla de Tenerife en agosto de 2003 entre las 8:00 y las 12:00 am.	396
Figura 8.74.-	Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil norte de la isla de Tenerife en septiembre de 2003 entre las 14:00 y las 16:00 pm.	398
Figura 8.75.-	Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil norte de la isla de Tenerife en marzo de 2004 entre las 8:00 y las 12:00 am.	401
Figura 8.76.-	Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en marzo de 2004 entre las 8:00 y las 12:00 am.	403
Figura 8.77.-	Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en noviembre de 2005 entre las 8:00 y las 12:00 am.	406
Figura 8.78.-	Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en noviembre de 2005 entre las 8:00 y las 12:00 am.	407
Figura 8.79.-	Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en noviembre de 2005 entre las 8:00 y las 12:00 am.	409

Índice de Tablas

Nº de Tabla	Título de la Tabla	Página
Tabla 1.1.	Composición química del aire seco a nivel del mar. (Figueruelo & Marino, 2001).	4
Tabla 1.2.	Riesgos a largo plazo de los principales COVs presentes en los disolventes orgánicos utilizados en la industrial (Laurén et al., 1985, Turuguet 1996).	7
Tabla 1.3.	Efectos reproductivos de los COVs presentes en los disolventes orgánicos (Song et al., 2006).	7
Tabla 1.4.	Cuadros de riesgos para la salud derivados del uso, manipulación y exposición a los disolventes (Baker et al., 1985).	8
Tabla 1.5.	Contribución de diversas fuentes antropogénicas a las emisiones de COVs (Figueruelo & Marino, 2001).	14
Tabla 1.6.	Factores de emisión de COVs desde la combustión de fueles en diferentes sectores de Alemania (Seir, 1997).	15
Tabla 1.7.	Composición estimada de la emisión de COVs desde instalaciones de combustión (Veldt, 1992).	17
Tabla 1.8.	Composición de la emisión de COVs no metanizados desde la producción de crudo y la salida de gas natural (McInnes, 1996).	18
Tabla 1.9.	Composición estimada de la emisión de COVs no metanizados desde la evaporación de gasolinas a temperatura ambiente (Veldt, 1992).	20
Tabla 1.10.	Emisión de Disolventes por diferentes productos. Valores dados en porcentajes (Hewit, 1999).	22
Tabla 1.11.	Emisión de COVs desde la industria química en Alemania. Valores dados en porcentajes (Obermeier, 1995).	23
Tabla 1.12.	Principales tipos de COVs biogénicos (Singh & Zimmerman, 1992).	25
Tabla 1.13.	Emisiones de COVs no metanizados y metano en 29 países Europeos de acuerdo con el inventario CORNAIR 1990. Valores dados en 1000 toneladas por año (McInnes, 1996).	26-27
Tabla 1.14.	Ensayos realizados en túneles para estimar las emisiones de COVs desde fuentes móviles.	29
Tabla 2.1.	IONES de cuantificación, tiempos de retención, porcentajes de recuperación y límites de detección para cada analito en el método TO-14.	51
Tabla 2.2.	Valores de t de Student (Samuels, 1989).	53
Tabla 2.3.	Estadística de los tiempos de retención de los COVs no metanizados analizados por	54

	GC/MS/MS. Análisis intra-día	
Tabla 2.4.	Estadística de las áreas de los picos cromatográficos de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS. Análisis intra-día.	55
Tabla 2.5.	Estadística de los tiempos de retención de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS. Análisis inter-día.	56
Tabla 2.6.	Estadística de las áreas de pico de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS. Análisis inter-día.	57
Tabla 2.7.	Concentraciones y estadística descriptiva de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y BTEX expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife a las 14:00 horas de los días 7 de agosto de 2003, 17 de marzo, 21 de abril de 2004, 24 de junio de 2004 y 8 de octubre de 2004.	60
Tabla 2.8.-	Concentraciones y estadística descriptiva de radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife a las 14:00 horas de los días 7 de agosto de 2003, 17 de marzo, 21 de abril de 2004, 24 de junio de 2004 y 8 de octubre de 2004.	61
Tabla 2.9	Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 17-08-03 hasta las 05:00 horas del 18-08-03.	68
Tabla 2.10.	Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 11-02-04 hasta las 05:00 horas del 12-02-04.	69

Tabla 2.11.	Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 27-04-04 hasta las 05:00 horas del 28-04-04.	70
Tabla 2.12.	Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 01-07-04 hasta las 05:00 horas del 02-07-04.	71
Tabla 2.13.	Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 21-10-04 hasta las 05:00 horas del 22-10-04.	72
Tabla 2.14.	Emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales obtenidos en a través de los ensayos realizados en el túnel de la Avda. Tres de Mayo.	78
Tabla 2.15.	Emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales en la isla de Tenerife durante los años 1998 y 2006.	80
Tabla 2.16.	Valores promedio de concentración de benceno, tolueno, etilbenceno, m y p-xilenos y o-xileno, obtenidos a través de ensayos realizados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo (Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias), en el túnel de Lincoln (Manhatan, EE.UU), en el túnel 9 de Julio (Sao Paulo, Brasil) y en el túnel de Sangdo (Seul, Corea del Sur).	98

Tabla 2.17.	Valores promedio de emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, m y p-xilenos y o-xileno en mg/vehículo·km, obtenidos en a través de ensayos realizados en el túnel de la Avda. Tres de Mayo (Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias), túnel de Gubrist (Zurich, Suiza), túnel de Taipei (Taipei, Taiwan), túnel de Tauern (Austria), túnel de McHenry (Baltimore, EE.UU) y en el túnel de Tuscarora Mountain (Pensilvania, EE.UU).	101
Tabla 2.18.	Datos del Centro de Investigación del Transporte (TRANSYT) (Pardeiro et al., 2006).	105
Tabla 2.19.	Datos del Inventario de emisiones atmosféricas debidas al tráfico rodado en varias ciudades españolas, con alta resolución espacial y temporal, para su aplicación en modelos de calidad del aire (Benoiston 2006).	106
Tabla 3.1.	Constante de la cámara de acumulación en función de la temperatura y presión (dimensiones de la cámara utilizada 9,1 cm de alto y 19,75 cm de diámetro).	124
Tabla 3.2.	Resumen estadístico de los resultados obtenidos del estudio de emisión difusa biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante 2004.	164
Tabla 3.3.	Resumen estadístico de los resultados obtenidos del estudio de emisión difusa biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante 2005.	165
Tabla 3.4.	Emisión biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante los estudios realizados en 2004 y 2005.	166
Tabla 3.5.	Emisión biogénica No-controlada en el vertedero de Lazareto durante el periodo de estudio realizado en 2005.	181
Tabla 3.6.	Emisión biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante el periodo de estudio realizado en 2004 y 2005 y en el vertedero de Lazareto durante el periodo de estudio realizado en 2005.	183
Tabla 3.7.	Emisión biogénica No-controlada por Km ² en el vertedero de Arico en 2004 y 2005 y en el vertedero de Lazareto durante en 2005.	186
Tabla 3.8.	Valores promedio de concentración (ppbV) de benceno, tolueno, etilbenceno, m y p-xilenos y o-xileno, obtenidos a través de ensayos realizados en los vertedero de Arico y Lazareto y los vertederos de Nan ji Do, Woon Jung Dong, Sam Pong Dong, Hoei Chun Dong y No Hyung Dong, Korea.	190

Tabla 3.9.	Valores promedio de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de COVs obtenidos en ensayos realizados en los vertederos descritos en esta tesis doctoral, vertedero de Datianshan (Zou et al., 2003), vertedero en Irlanda (James et al., 1997) y vertedero de New Jersey (LaRegina et al., 1986).	194
Tabla 4.1.	Datos promedios de concentración y flujo de COVs no metanizados durante el pretratamiento.	206
Tabla 4.2.	Datos promedios de concentración y flujo de COVs no metanizados en los clarificadores primarios.	207
Tabla 4.3.	Datos promedios de concentración y flujo de COVs no metanizados en los reactores biológicos.	208
Tabla 4.4.	Datos promedios de concentración y flujo de COVs no metanizados en los clarificadores secundarios.	209
Tabla 4.5.	Datos de emisión de benceno en las diferentes etapas de depuración.	213
Tabla 4.6.	Datos de emisión de tolueno en las diferentes etapas de depuración.	213
Tabla 4.7.	Datos de emisión de etilbenceno en las diferentes etapas de depuración.	214
Tabla 4.8.	Datos de emisión de m+p xileno en las diferentes etapas de depuración.	214
Tabla 4.9.	Datos de emisión de o-xileno en las diferentes etapas de depuración	215
Tabla 4.10.	Datos de emisión de BTEX en las diferentes etapas de depuración.	215
Tabla 4.11.	Datos de emisión de radicales bencénicos en las diferentes etapas de depuración.	216
Tabla 4.12.	Datos de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de depuración.	216
Tabla 4.13.	Datos de emisión de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de depuración.	217
Tabla 4.14.	Datos de emisión de COVs totales en las diferentes etapas de depuración.	217
Tabla 4.15.	Datos de concentración de COVs en diferentes EDAR, ríos y lagos.	220
Tabla 4.16.	Datos de concentración de COVs durante la etapa de pretratamiento en la EDAR de S/C y la EDAR de Manresa.	221
Tabla 5.1.	Emisión de COVs y SO_2 a la atmósfera por la refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife.	232
Tabla 5.2.	Emisión de benceno a la atmósfera por las refinerías de petróleo en España (EPER).	234

Tabla 5.3.a	Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por las refinerías de petróleo en España (EPER).	236
Tabla 5.3.b	Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por las refinerías de petróleo en España (EPER).	237
Tabla 6.1.	Valores promedio de la concentración de COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de la vaquería.	247
Tabla 6.2.	Emisión de los COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de la vaquería y emisión de COVs no metanizados por el ganado vacuno en Tenerife y Canarias.	252
Tabla 6.3.	Valores de concentración de COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de la vaquería y en el experimento realizados en la granja de vacas de la Universidad de Washington por Filipy et al., 2005.	253
Tabla 7.1.	Resumen estadístico de los datos de emisión difusa de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados, COVs totales y CO ₂ a la atmósfera por el volcán Teide.	267
Tabla 7.2.	Emisión difusa de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, COVs totales y CO ₂ a la atmósfera por el volcán Teide.	278
Tabla 7.3.	Valores de concentración de benceno y tolueno procedentes de diferentes ambientes volcánicos.	281
Tabla 7.4.	Valores de concentración promedios de hidrocarburos halogenados determinados en los sistemas volcánicos del Teide, Cerro Negro, Solfatara y en estudios realizados por Fischer et al., 2006; en tres fumarolas del volcán Momotombo, Nicaragua.	284
Tabla 7.5.	Valores de emisión a la atmósfera de hidrocarburos halogenados en gr a ⁻¹ determinados en los sistemas volcánicos del Teide, Cerro Negro, Solfatara y en estudios realizados por Fischer et al., 2006; en tres fumarolas del volcán Momotombo, Nicaragua.	285
Tabla 7.6.	Valores de emisión de COVs no metanizados en gr·d ⁻¹ y valores de emisión de CO ₂ en t·d ⁻¹ determinados en los sistemas volcánicos del Teide, Cerro Negro y Solfatara.	287

Tabla 7.7.	Valores de emisión de COVs no metanizados en Kg.Km ² .a ⁻¹ y valores de emisión de CO ₂ en t.d ⁻¹ determinados en los sistemas volcánicos del Teide, Cerro Negro y Solfatará.	287
Tabla 8.1.	Frecuencia de Observación (FO) ^a y Abundancia Relativa (RA) ^b de los COVs identificados por GC/MS en más de 1000 muestras tomadas en áreas Urbana, Suburbanas, Forestales y Remotas (Ciccioli et al., 1999).	300- 315
Tabla 8.2.	Porcentaje de la composición de las principales clases de COVs y concentración total en µg·m ⁻³ de dichos COVs en diferentes ambientes (Ciccioli et al., 1999).	292
Tabla 8.3.	Niveles promedios de concentración de COVs en ppbV en diferentes regiones.	321- 328
Tabla 8.4.	Niveles promedios de concentración de COVs en µg·m ⁻³ en diferentes regiones.	335- 344
Tabla 8.5.	Valores promedio de concentración de COVs en µg/m ³ por año de estudio en el ambiente industrial del polígono Industrial de Granadilla, Tenerife.	349
Tabla 8.6.	Valores promedios de concentración de COVs en µg·m ⁻³ en el ambiente urbano de la Orotava, Tenerife, durante los diferentes periodos de estudios.	359
Tabla 8.7.	Valores promedio de concentración de COVs en µg·m ⁻³ en el ambiente urbano-industrial de Santa Cruz durante los diferentes periodos de estudio.	369
Tabla 8.8.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en µg.m ⁻³ en diferentes puntos de observación de la isla de Tenerife; ambiente industrial de Granadilla, ambiente urbano del Valle de la Orotava y ambiente urbano-industrial de Santa Cruz durante el periodo de estudio.	380
Tabla 8.9.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en µg.m ⁻³ a las 12 am en diferentes puntos de observación localizados alrededor de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz de Tenerife durante el periodo de estudio llevado a cabo desde 2004 a 2006.	388
Tabla 8.10.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en µg/m ³ a las 12 pm en diferentes puntos de observación localizados alrededor de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz de Tenerife durante el periodo de estudio llevado a cabo desde 2004 a 2006.	389

Tabla 8.11.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de Tenerife entre las 8:00 y las 12:00 am de agosto de 2003.	395
Tabla 8.12.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de Tenerife entre las 14:00 y las 16:00 pm de septiembre de 2003.	397
Tabla 8.13.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de entre las 8:00 y las 12:00 AM de marzo de 2004.	400
Tabla 8.14.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil sureste la isla de Tenerife entre las 8:00 y las 12:00 am de marzo de 2004.	402
Tabla 8.15.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de entre las 8:00 y las 12:00 am de noviembre de 2005.	404
Tabla 8.16.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil sureste la isla de entre las 8:00 y las 12:00 am de noviembre de 2005.	404
Tabla 8.17.	Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^3$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil sur la isla de entre las 8:00 y las 12:00 am de noviembre de 2005.	405

Resumen

El aumento de la calidad de vida en los países desarrollados ha acarreado un deterioro en la salud del planeta a varias escalas. Esta mayor calidad de vida se traduce en un consumo desmesurado de combustibles fósiles, una mala utilización y gestión de los recursos, materias primas y residuos generados. La contaminación resultante de este mal uso de los recursos ha afectado tanto al suelo como al mar y al aire, provocando el deterioro del planeta y el deterioro en la salud de los seres vivos que se hospedan en él. Diariamente grandes cantidades de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) son emitidos a la atmósfera desde fuentes antropogénicas y fuentes naturales. La necesidad de vigilar las concentraciones de COVs en la atmósfera se deriva principalmente de varios factores: la toxicidad de los mismos, participan en la formación de ozono troposférico, juegan un rol importante en la deposición de lluvia ácida, son precursores de partículas finas aéreas urbanas y algunos COVs como los CFC son importantes gases de efecto invernadero contribuyendo al cambio climático. Los COVs no sólo comprenden un amplio espectro de especies, sino que además son producidos por una gran variedad de fuentes. Las más importantes son: (1) procesos de combustión, (2) producción, tratamiento, almacenamiento y distribución de combustibles fósiles, (3) aplicación de disolventes orgánicos volátiles, (4) procesos de producción industrial, y (5) fuentes naturales y procesos biológicos.

Aunque se ha avanzado en el conocimiento de las transformaciones químicas que sufren los COVs en atmósfera, así como sus impactos, se mantiene aún cierto grado de incertidumbre respecto al número y origen de las diferentes fuentes emisoras de COVs a la atmósfera, así como, el total de COVs emitidos por dichas fuentes. Este trabajo de investigación evalúa las emisiones de COVs no metanizados desde diferentes fuentes de emisión antropogénicas (tráfico, vertederos, industrias, depuradoras y granjas) y naturales (volcanes) en la isla de Tenerife. También se evalúan los niveles de inmisión de COVs en la baja

troposfera de este frágil ambiente insular (escala regional, escala urbana, variaciones diurnas y nocturnas y su distribución vertical). La emisión a la atmósfera de COVs no metanizados por parte del tráfico, vertederos, depuradoras, granjas y volcanes en la isla de Tenerife ha sido estimada en este trabajo de investigación en 2066 kg·d⁻¹ (tráfico que circula en la Isla de Tenerife 2006), 6.36 kg·d⁻¹ (vertedero de Arico en 2004), 8.89 kg·d⁻¹ (vertedero de Arico en 2005), 1.91 kg·d⁻¹ (vertedero de Lazareto en 2005), 0.3 kg·d⁻¹ (Estación Depuradora de Aguas Residuales [EDAR] de S/C de Tenerife), 0.14 kg·d⁻¹ (Ganado Vacuno de la Isla de Tenerife), 0.40 kg·d⁻¹ (Ganado Vacuno en la Comunidad Autónoma de Canarias) y 129,4 mg d⁻¹ (Volcán Teide).

Los datos aportados en esta tesis doctoral muestran como los niveles de inmisión COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife disminuyen de concentración según nos alejamos de áreas urbanas. Los niveles de inmisión de los COVs no metanizados determinados en los tres puntos de observación establecidos (Polígono Industrial de Granadilla, Valle de la Orotava y Santa Cruz) son relativamente bajos comparados con otros ambientes estudiados por diferentes autores. Los resultados promedios obtenidos en las campañas realizadas en el entorno de la Refinería de Petróleo de S/C de Tenerife muestran como en los ambientes diurnos es donde encontramos mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados, durante estas horas es cuando tienen lugar las principales actividades antrópicas; una intensa actividad vehicular y actividades industriales como la actividad de la Refinería de Petróleo. Los resultados obtenidos de los perfiles altitudinales realizados reflejan como las concentraciones de COVs no metanizados en la baja troposfera disminuyen con la altura y varían dependiendo de su posición geográfica.

Abstract

The increase of the quality of life in the developed countries has deteriorated the health of the planet to several scales. This life consumes fossil fuels, resources, matters and generated residuals. These activities are polluting the soil, sea, air and it is causing the deterioration of the planet and the health of the organisms. Daily high quantities of organic volatile compound (VOCs) are released to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. The necessity of monitoring in the atmosphere the VOCs concentrations is derived mainly by: many VOCs are toxic or carcinogenic for humans and animals above certain doses, The role of the VOCs as precursors to the ozone formation in the troposphere, they play an important role in the acid rain deposition, they are precursory of urban air particles and some VOCs are important gases that contributing to the climatic change. VOCs in the ambient air not only comprise a broad spectrum of volatile species, but also are produced by a wide variety of sources The main sources of VOCs emission to the atmosphere are due to man's activities and primarily related to (1) combustion processes, (2) production, treatment, storage, and distribution of fossil fuels, (3) application of volatile organic solvents and solvent-containing products, and (4) industrial production processes and (5) biological processes.

As well as the knowledge of the VOCs has advanced in chemical transformations in atmosphere, as well as their impacts, it has certain grade of uncertainty the number and origin of the different sources from VOCs to the atmosphere, as well as, the total VOCs emitted by this sources. This research evaluates the non methane VOCs emissions from different anthropogenic (traffic, drains, industries, purifying and farms) and natural (volcanos) sources in the Tenerife Island. The levels of VOCs in lower troposphere are evaluated in this fragile insular atmosphere (regional climbs, urban climbs, day and night variations and their vertical distribution). The VOCs emission to the atmosphere by the traffic, landfill, sewage treatment plant, farms and volcano in Tenerife island have been estimated in this research in; 2066 kg·d⁻¹ (traffic that circulates in the Tenerife Island 2006), 6.36 kg·d⁻¹ (Arico's landfill 2004), 8.89

kg·d⁻¹ (Arico 's landfill 2005), 1.91 kg·d⁻¹ (Lazaretto 's landfill 2005), 0.3 kg·d⁻¹ (sewage treatment plant of S/C of Tenerife), 0.14 kg·d⁻¹ (Bovine Livestock of the Tenerife Island), 0.40 kg·d (Bovine Livestock in the Comunidad Autonoma de Canarias) and 129,4 mg d⁻¹ (Teide Volcano).

The data of this research show as the levels of non methane VOCs in the lower troposphere of the Tenerife island of Tenerife diminish of concentration in urban areas. The levels of non methane VOCs determined in the three monitoring points observations (Poligono Industrial de Granadilla, Valle de la Orotava y Santa Cruz) are relatively low compared with other atmospheres studied by different authors. The average results obtained in this research carried out in the environment around of the Refinery of Petroleum of S/C of Tenerife show that the levels of non methane VOC emission in the atmosphere is higher during daily hours, when they take place the main activities; exist an intense vehicular and industrial activities. The results obtained of the altitude profiles show as the non methane VOCs concentrations in the lower troposphere diminish with the altitude and them depending of their geographical position.

Capítulo 1

Emisiones antropogénicas de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Isla de Tenerife



-
- 1.1 Introducción
 - 1.2 Procesos de combustión
 - 1.3 Producción, tratamiento, almacenamiento y distribución de combustibles fósiles
 - 1.4 Uso de disolventes
 - 1.5 Procesos industriales
 - 1.6 Procesos biológicos
 - 1.7 Datos de emisiones
 - 1.8 Estado del arte
 - 1.9 Objetivo de esta Tesis Doctoral
 - 1.10 Marco de estudio
 - 1.11 Estructura de esta Tesis Doctoral

1.1. Introducción

La influencia que ha ejercido la actividad antropogénica desde la revolución industrial sobre el medioambiente y el clima del planeta es cada vez más acuciante. Actualmente la actividad antropogénica se considera como principal responsable del cambio climático y, según se prevé, su interacción con el medio ambiente natural está aún por determinar. Las emisiones de gases de efecto invernadero [dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido de nitrógeno (N_2O) y ozono troposférico (O_3)] producidas como consecuencia de las actividades humanas han sido muy intensas a partir de la Revolución Industrial (IPCC, 2007). La industrialización a nivel global, la utilización de nuevas tecnologías y el crecimiento de la población mundial son las principales causas del incremento de las concentraciones de estos gases (IPCC, 2007). Así, la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera desde la segunda mitad del siglo XVIII se ha incrementado a un ritmo sin precedentes, mucho más rápido que en cualquier periodo histórico anterior, lo que puede dar lugar a alteraciones en el clima desconocidas hasta la fecha. A estos gases de efecto invernadero, debemos agregar la contribución de otros gases fotoquímicamente importantes como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y muchos Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) distintos del metano (Tabla 1.1).

Los gases de efecto invernadero, CH_4 y CO_2 están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que hagan aumentar la temperatura del planeta entre 1,5 y 5,8 °C en el próximo siglo (IPCC, 2001). Como repuesta a este cambio, se espera que los patrones de precipitación globales también se alteren. Asociados a estos cambios potenciales, se espera que se produzcan grandes alteraciones en los ecosistemas globales, así como una pérdida neta de 100 millones de hectáreas de bosques (Sargent, 1998). Así mismo, se producirá una expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales (Becker, 1997), se inundarán terrenos costeros y ciudades, se intensificarán las tormentas, se extinguirán incontables especies de plantas y

animales, desaparecerán los cultivos en áreas vulnerables, aumentarán las sequías, etc., (Lashof, 1997). Las emisiones de contaminantes inorgánicos tóxicos tales como el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) están causando la acidificación de las aguas naturales y los suelos a escala regional, la eutrofización de los sistemas terrestres y costeros, daños a la diversidad natural de flora y fauna, la corrosión de los materiales en edificios culturales y estructuras en general, así como daños a la salud humana (Figueruelo & Marino, 2001). Finalmente las emisiones de una amplia gama de *Compuestos Orgánicos Volátiles* distintos del metano están generando cambios en la química atmosférica, particularmente en la capacidad de oxidación de la troposfera, afectando a un amplio rango de dimensiones espaciales que van desde las escalas urbanas localizadas a escalas regionales supranacionales, llegando inclusive a una escala global (Hewitt, 1999). Estos contaminantes atmosféricos están también asociados a multitud de problemas relacionados con la salud (WHO, 1987; WHO 2000). Las emisiones de COVs junto con las emisiones de los NO_x están favoreciendo el aumento de la radiación ultravioleta sobre la superficie terrestre debido a que son sustancias que favorecen la reducción de los niveles de ozono en la estratosfera (Finlayson-Pitts & Pitts, 1997; Atkinson, 2000).

Tabla 1.1. Composición química del aire seco a nivel del mar. En menor proporción se encuentran el dióxido de azufre (SO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), diversos compuestos orgánicos volátiles (COVs) y otros óxidos de nitrógeno, etc. No se ha incluido en la tabla el vapor de agua cuya proporción es variable (Figueruelo & Marino, 2001).

Componente	% en volumen	Componente	% en volumen
N ₂	78,085	Kr	0,000114
O ₂	20,946	H ₂	0,00005
A	0,934	CO	0,00001
CO ₂	0,031	Xe	0,0000087
Ne	0,002	O ₃	0,000002
He	0,001	NH ₃	0,0000006
CH ₄	0,0001	NO ₂	0,0000001

No existe una definición internacionalmente adoptada para definir los COVs. El término anglosajón “VOCs” (Volatile Organic Compound) es el más aceptado y ha sido adoptado por la Comisión Económica Europea en las

Naciones Unidas en el año 1991, qué textualmente los define como “compuestos orgánicos volátiles, distintos del metano, de naturaleza antropogénica capaces de producir oxidantes fotoquímicos en presencia de luz solar por reacción con óxidos de nitrógeno”. Esta familia de compuestos químicos conocida como COVs comprende una gran variedad de especies con diferentes características físicas y químicas. Los hidrocarburos puros que contienen carbono e hidrógeno como únicos elementos (alcanos, alquenos, alquinos y aromáticos) son las clases de COVs más importantes (Hewitt, 1999). Frecuentemente, los COVs contienen elementos también importantes como el oxígeno, el cloro y otros elementos además de carbono y oxígeno (Hewitt, 1999). En estas últimas clases se incluyen por ejemplo, aldehídos, ésteres, alcoholes, cetonas, alcanos y alquenos clorados, clorofluorocarbonados (CFC) e hidroclofluorocarbonados (HCFCs) (Hewitt, 1999). La denominación de COVs se debe a que poseen una alta presión de vapor y como consecuencia de dicha volatilidad escapan fácilmente hacia la atmósfera reduciendo la calidad del aire. El metano (CH_4) es uno de los COVs más importantes, y su impacto medioambiental deriva principalmente de su contribución al calentamiento global. Por esta característica es considerado cada vez más separadamente del resto de los COVs.

Las principales fuentes de COVs están relacionadas directa o indirectamente con el petróleo y sus derivados: vapores de automóviles por combustión incompleta (aromáticos, olefinas y parafinas), industrias de pinturas, tintas, lacas y esmaltes (alcanos y cicloalcanos), vapores de gasolineras emitidos desde los tanques de almacenamiento, disolventes empleados en pinturas y operaciones de desengrasado y limpieza (hexano, ciclohexano y aromáticos derivados del tolueno y xileno), adhesivos (metil-etil cetona, derivados tipo nafta, tricloroetano), aerosoles, industrias de plásticos (compuestos clorados) y un largo etcétera (Espina & Vanegas, 1996).

La necesidad de vigilar las concentraciones de COVs en la atmósfera se deriva principalmente de cuatro factores:

a) **La toxicidad de los mismos;** muchos COVs son tóxicos y potenciales carcinógenos, la exposición a los COVs es preocupante puesto que representan un riesgo significativo para la salud humana (WHO, 1987; WHO 2000). Además, la degradación de los COVs favorece la formación de contaminantes secundarios que a su vez causan el deterioro de la calidad de aire (Chan et al., 2002). Ciertos COVs como el benceno, el estireno y el 1,1,2,3,4,4-hexacloro 1,3-butadieno son altamente tóxicos para la salud humana (Ames et al., 1975; Nielsen et al., 1996; Claxton et al., 1992). Los riesgos para la salud asociados a la emisión de COVs a partir del uso de disolventes orgánicos se derivan de sus propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables. El carácter volátil de los disolventes hace que éstos se evaporen rápidamente en el aire, alcanzando concentraciones importantes en espacios confinados. Los riesgos mayores para el ser humano se producen por la absorción de éstos a través de la piel y por inhalación. El contacto directo con la piel permite que el disolvente pase a la sangre, causando efectos inmediatos y a largo plazo. La inhalación constituye la vía de exposición más peligrosa, porque los pulmones son muy eficaces al distribuir estas o cualquier otra sustancia por todo el cuerpo, pudiéndose inhalar concentraciones muy elevadas en un plazo breve, siendo esta vía particularmente difícil de controlar. Además, los disolventes orgánicos son liposolubles, es decir, una vez que se introducen en el organismo tienen afinidad por los tejidos grasos y no suelen disolverse en agua, aunque sus metabolitos sí son hidrosolubles. Los COVs al ser inhalados, recorren las vías respiratorias, pasando a la sangre y de ahí a los diferentes órganos, donde tienden a acumularse. Con el paso del tiempo las concentraciones acumuladas pueden alcanzar niveles que representen un riesgo para la persona y, en particular, para un feto durante su desarrollo embrionario (Tabla 1.2 y 1.3).

Tabla 1.2. Riesgos a largo plazo de los principales COVs presentes en los disolventes orgánicos utilizados en la industrial (Laurén & Rice, 1985; Turuguet, 1996).

COVs	Mutagenidad	Cancerígenos en humanos	Cancerígenos en animales	Neurotoxicidad	Hepatotoxicidad
Acetato de metilo					X
Acetato de etilo					X
Benceno		X		X	
Clorobenceno				X	X
Cloroformo			X	X	X
Cloruro de metileno			X	X	X
Dicloroetano				X	X
Dicloropropano				X	
Estireno	X			X	
Formaldehído	X	X		X	
N-Hexano e isómeros				X	
Metiltilcetona				X	
Tetracloroetileno			X	X	X
Tetracloruro de carbono			X	X	X
Tolueno				X	X
1,1,1 tricloroetano /metilcloroformo				X	X
Tricloroetileno	X		X	X	X
Xileno e isómeros				X	

X efectos adversos observados

Tabla 1.3. Efectos reproductivos de los COVs presentes en los disolventes orgánicos (Song et al., 2006).

COVs	Exposición	Disminución fertilidad	Alteración cromosómica	Prematuridad	Mortalidad Perinatal	Malformación congénita
Benceno	Materna	X ~	X ~			X
Dibromo-cloropropano	Paterna	X	?			
Dibromuro de etileno	Materna	X	X			X
	Paterna	X				
Tetracloro-etileno	Materna	X?		?	?	?

X efectos adversos observados

~ efectos explorados pero no observados

? desconocida

Hay muchos factores que determinan si una persona podría caer enferma debido a la exposición de COVs. Entre estos factores se incluyen la concentración y cantidad del compuesto químico así como su habilidad para evaporarse en el aire. Factores como la edad, el sexo y el peso del individuo también influyen, junto al tiempo de exposición del compuesto químico. Entre los efectos perjudiciales de los COVs se incluyen; irritación en ojos, nariz y garganta, dolores de cabeza, reacción superficial alérgica como salpullidos, respiración con dificultad, náuseas y vómitos, fatigas, vértigo, pérdida de coordinación y confusión (WHO, 1987; WHO 2000). Daños al corazón, hígado y riñones, cánceres y daños al sistema nervioso central son otros efectos a largo plazo y tras exposiciones repetidas (Tabla 1.4) (WHO, 1987; WHO 2000).

Tabla 1.4. Cuadros de riesgos para la salud derivados del uso, manipulación y exposición a los disolventes (Baker et al., 1985).

Grupo expuesto	Síntomas subjetivos	Afectación visual-motora	Memoria	Afectación lenguaje	Humor
Pinturas de coche	X	X	X	X	X
Lacadores	X				X
Pintores casas	X	X	X ~	X	X
Pintores spray	X	X	X	~	
Rayón viscosa		X	X	~	
Laminación		X	~	~	
Impresión		~	X	~	
Acerería		X			~

X efectos adversos observados

~ efectos explorados pero no observados

b) *Forman ozono troposférico y juegan un rol importante en la deposición de lluvia ácida;* los COVs participan en la formación de ozono troposférico al reaccionar en presencia de luz con los óxidos de nitrógeno presentes en la atmósfera, como resultado forman ozono troposférico (O₃), ácido nítrico y otros contaminantes (Finlayson-Pitts & Pitts, 1997). Algunos COVs como es el caso del 1,1,1-tricloroetano y el tetracloruro de carbono, contribuyen de manera notoria a la degradación de la capa de ozono atmosférico (Finlayson-Pitts & Pitts, 1997; Atkinson, 2000).



La contaminación por ozono es un problema crónico y de amplia distribución en toda la Unión Europea, hasta el punto de que existe una normativa que limita los niveles de ozono. La Directiva 92/72/CEE, sobre la contaminación atmosférica por ozono que fue transpuesta a la legislación española en septiembre de 1995 en el Real Decreto 1494. El ozono troposférico puede causar efectos nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente, pero de hecho, las especies vegetales y los cultivos son más sensibles a este contaminante que los seres humanos. El ozono troposférico interfiere en la actividad fotosintética, en el crecimiento y en el metabolismo general de las plantas, y también aumenta la sensibilidad de los árboles a las heladas, al calor y a la sequía (IPCC, 2001). Se ha estimado que las concentraciones de ozono que han sido registradas en la temporada estival de crecimiento, causan pérdidas de producción en la agricultura que pueden suponer entre un 5-10% en toda la Comunidad Europea. (IPCC, 2001). Los COVs también juegan un importante papel en la deposición de lluvia ácida, ya que contribuyen a la generación de los radicales libres responsables de la conversión de óxidos de azufre en ácido sulfúrico (Derwent et al., 1996). Similar situación se da con respecto al ácido nítrico (Figura 1.1), así como en la formación de peróxidos que influyen en las formaciones ácidas de las nubes (Derwent et al., 1996; Finlayson-Pitts & Pitts, 1997; Atkinson, 2000). Los NO_x y SO_x pueden viajar durante cientos de kilómetros arrastrados por corrientes de aire, en niveles próximos al suelo (inferiores a 2 Km.), llegando a provocar lluvias ácidas en zonas muy alejadas. Las lluvias ácidas producen la acidificación de las fuentes naturales del agua, afectando a la fauna acuática y al plancton, la lixiviación de los nutrientes del suelo, afectando a cosechas y bosques, y el aumento de la corrosión de los materiales.

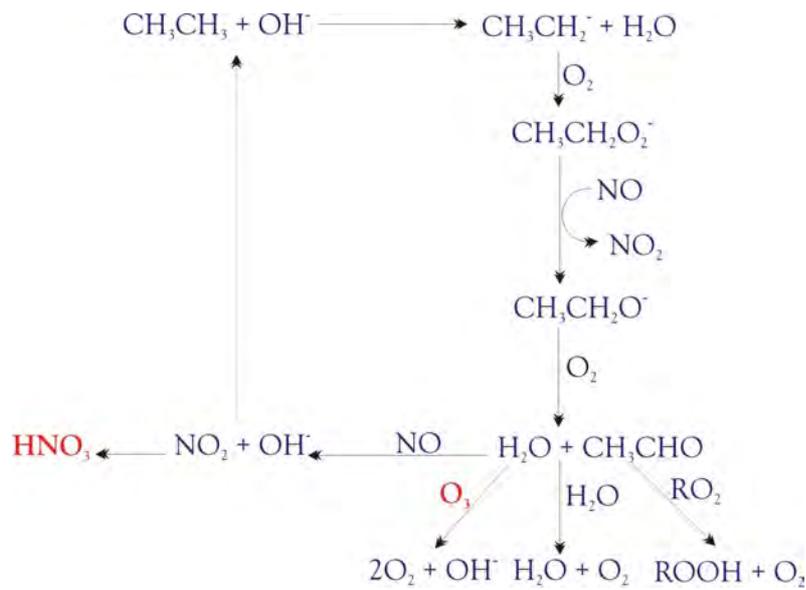


Figura 1.1.- Papel que juegan los COVs en la formación de ozono troposférico y la conversión de NO a NO₂, para su posterior conversión a O₃ o HNO₃, elemento que juega un rol importante en la deposición de lluvia ácida (Finlayson-Pitts & Pitts, 1997; Atkinson, 2000).

c) *Son precursores de partículas finas en aéreas urbanas;* la oxidación de ciertos COVs puede dar lugar a aerosoles orgánicos y contribuir así, a un aumento en la formación de nieblas, con su consiguiente disminución de visibilidad. Los COVs que hacen de precursores gaseosos de aerosoles orgánicos tienen su origen en la quema de biomasa o combustibles fósiles y más frecuentemente tienen su origen en fuentes vegetales, como las grandes extensiones de cultivos (Figura 1.2).



Figura 1.2.- Quema de rastrojos en un campo valenciano (Vizcaíno, 2004).

El estudio realizado por Pandis et al. (1991), muestra como fracciones significativas de ciertos COVs biogénicos como los α y β -pineno pueden formar aerosoles orgánicos. Según Odum et al. (1996, 1997a & 1997b), los COVs aromáticos no metanizados son también importantes precursores de estos aerosoles orgánicos. Muchos hidrocarburos aromáticos y sus productos de oxidación juegan aquí una labor importante (Chameides et al., 1988; Andreae & Crutzen, 1997).

d) Algunos COVs son gases de efecto invernadero, contribuyendo al CAMBIO CLIMATICO; entre los COVs más contaminantes que alteran la composición y la dinámica de la atmósfera terrestre están los clorofluorocarbonados e hidroclofluorocarbonados (CFCs y HCFCs) y los bromofluorocarbonados e hidrobromofluorocarbonados (BFCs y HBFCs), que contribuyen en buena medida a la destrucción de la capa de ozono de la estratosfera y al denominado “agujero de ozono” (IPCC, 2001). Estos gases creados para aplicaciones industriales específicas, han experimentado un aumento significativo en su concentración en la atmósfera durante los últimos cincuenta años. Una vez liberados, algunos de ellos son muy activos como agentes intensificadores del efecto invernadero. Como resultado de su larga vida media, las emisiones que se han producido en los últimos 20 o 30 años continuarán teniendo un impacto por muchas décadas. En la Figura 1.3 se puede observar la evolución temporal (1989-1996) en la producción de CFCs, HFCs y sustancias halogenadas en un área urbana.

Según el informe de 2007 del IPCC, durante el siglo XX la temperatura promedio de la atmósfera se incrementó entre 0,4 y 0,8 °C. Las temperaturas en la troposfera inferior se han incrementado entre 0,08 y 0,22 °C por decenio desde 1979 (Lean & Rind, 2008). La década de 1990 fue la más cálida de la historia reciente, y en especial el año 1998. Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en latitudes septentrionales superiores (IPCC, 2007).

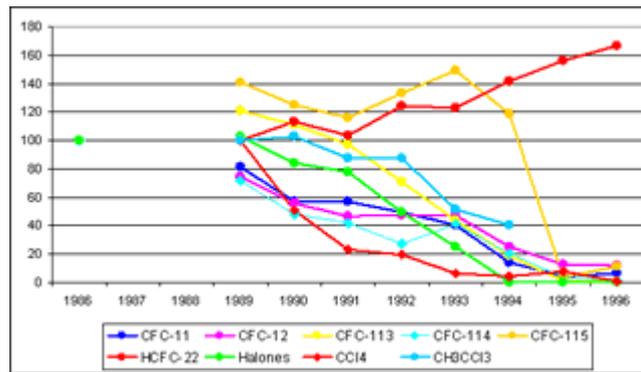


Figura 1.3- Variación temporal de la en la producción de sustancias que agotan la capa estratosférica de ozono. Se toma como origen 1986 para CFC-11, CFC-12, CFC-113, CFC-114, CFC-115 y HCFC-22; se toma como origen 1989 para halógenos, en su conjunto, tetracloruro de carbono y metilcloroformo. El punto inicial, en 1986, corresponde a la totalidad de sustancias (Agencia Europea del Medio Ambiente, AEMA 2001).

De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce años más calidos de los registros instrumentales de la superficie mundial (IPCC, 2007). Los cuatro años más calurosos de los que se tienen datos son 1998, 2002, 2003 y 2004 (IPCC, 2007). La décima parte de los glaciares alpinos desaparecieron en el verano de 2003 (IPCC, 2007). Al ritmo actual, se prevé que el 75 % de los glaciares suizos se deshiele antes de 2050 (IPCC, 2007). Según un nuevo informe de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), con sede en Copenhague, en Europa no se han observado cambios climáticos de esta magnitud desde hace 5000 años (AEMA, 2001). Cada vez son mayores las pruebas de que el calentamiento global, en especial el experimentado en los últimos 50 años, tiene causas atribuibles a la actividad humana. Las predicciones del IPCC para el año 2100 estiman que la temperatura ascenderá entre 1,4 °C y 5,8 °C (recordemos que las glaciaciones se originaron por descensos globales de unos 5 °C), mientras que el nivel del mar podría ascender entre 0,1 y 0,9 metros (IPCC, 2001), debido a la continua pérdida de masa helada en los polos. Otras organizaciones, como la NASA, estiman que la subida del nivel del mar será de entre 0,4 y 0,6 metros (IPCC, 2001). Han sido muchos los organismos que se han atrevido a lanzar datos acerca del posible incremento del nivel del mar, pero

la realidad es que las oscilaciones son importantes, yendo desde diez centímetros a un metro (IPCC, 2007). Actualmente no queda ninguna duda de que las masas heladas de los polos están sufriendo un progresivo desgaste, que provoca la fractura de grandes bloques de hielo que quedan a la deriva hasta que se disuelven en el océano. Si tenemos en cuenta que el 11% de la superficie terrestre es hielo, y que la temperatura media del planeta ha aumentado alrededor de 0,5 °C en el último siglo, tendremos motivos suficientes como para preguntarnos por las posibles consecuencias a largo plazo.

Los COVs no sólo comprenden un amplio espectro de especies, sino que además son producidos por una gran variedad de fuentes (Figura 1.4). Las más importantes son descritas en los siguientes apartados de este trabajo de investigación.

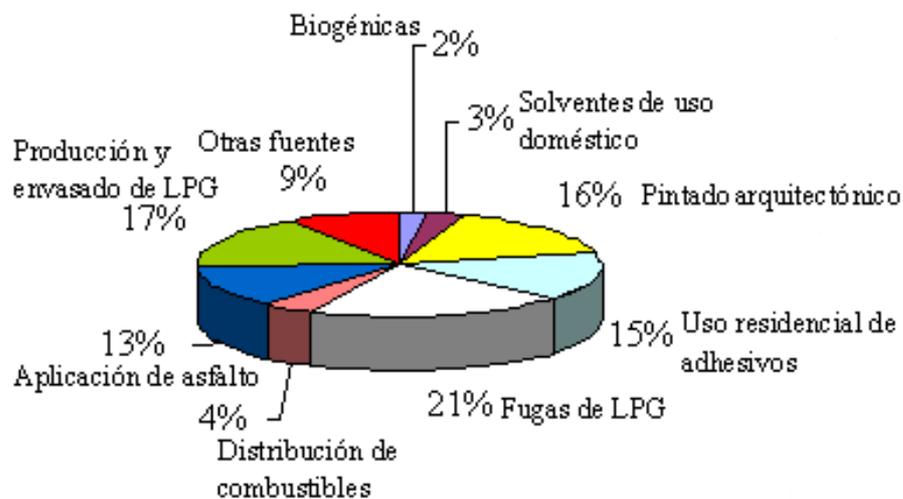


Figura 1.4.- Principales fuentes de COVs sin incluir automóviles e industrias (*Anuario Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA 2000*). LPG: gas licuado del petróleo.

En la Tabla 1.5 se muestra la contribución de las diversas fuentes de emisión. Como se observa en dicha tabla la mayor fuente antropogénica es la derivada de la combustión de elementos fósiles. Aproximadamente un 50% de la emisión de COVs proviene del tráfico, un 2% las centrales termoeléctricas, un 14% de procesos industriales (refinerías, siderurgias, etc.), un 5% procede de la

eliminación de las basuras (incineradoras, vertederos, etc.), un 14% es debido a la evaporación desde disolventes y un 13% proviene de otras fuentes: incendios forestales, quema de restos agrícolas, etc.

Tabla 1.5. Contribución de diversas fuentes antropogénicas a las emisiones de COVs (Figueruelo & Marino, 2001).

Fuente	%	
Transporte	52	
- Automóviles		49
- Barcos		3
Centrales Termoeléctricas	2	
Procesos industriales	14	
Eliminación de basuras	5	
Evaporación de disolventes	14	
Otros (incendios forestales, quema de restos agrícolas, etc.)	13	

1.2. Procesos de Combustión

Los procesos de combustión comprenden los producidos en los vehículos de combustión interna, plantas de combustión y hornos en general. El producto mayoritario en una combustión completa de combustible fósil es el agua y el CO₂, sin embargo y en la práctica, los procesos de combustión son incompletos. En las reacciones de combustión incompletas las mayores emisiones resultantes son de CO y COVs. El tipo de combustible y la técnica de combustión son los parámetros que dan una idea de la integridad de los procesos de combustión que tienen lugar en las plantas de combustión y hornos. En un estudio realizado por Seier (1997), se demostró que la quema de combustibles gaseosos y líquidos en general, emiten menos COVs que los producidos durante la quema de carbón, madera u otros sólidos (Tabla 1.6). Las únicas excepciones son las instalaciones de combustión de carbón que emiten menos COVs que las refinerías (Seir, 1997). En este estudio realizado por Seir (1997), se observó como las emisiones de COVs por plantas de combustión grandes son más bajas que la emisión de COVs por hornos pequeños usados en las casas.

Tabla 1.6. Factores de emisión de COVs desde la combustión de fuel en diferentes sectores de Alemania. Valores en Kgr de COVs por terajulio de fuel (Seir, 1997). ^a incineración de residuos

Fuentes	Descripción	Gas	Gasolina	Diesel	Fueloil ligero	Fueloil pesado	Carbón	Maderas u otros sólidos
Coche de pasajeros	Gasolina sin catalizador		473					
Coche de pasajeros	Gasolina con catalizador		17					
Coche de pasajeros	Diesel anterior a 1990			38				
Coche de pasajeros	Diesel posterior a 1996			33				
Vehículo ligero	Gasolina sin catalizador		454					
Vehículo ligero	Gasolina con catalizador		17					
Vehículo ligero	Diesel			49				
Vehículo pesado	Diesel anterior a 1990			170				
Vehículo pesado	Diesel posterior a 1996			135				
Ciclomotor	2 cilindros		4859					
Ciclomotor	2 cilindros con catalizador		2168					
Casa	Calefacción	5			5		400	350
Casa	Calentar agua	8			5			1600
Casa	Cocinando	25						2000
Otros consumos		5			5		30	210
Industrias		5				8	30	210
Plantas eléctricas		0,6				7	3	65 ^a

La razón de esto es que las plantas de combustión grandes están provistas de tecnologías de combustión costosas, asegurando una combustión completa del carbón, la construcción de hornos pequeños en las casas es relativamente simple y de fácil funcionamiento por lo que la combustión no es perfecta.

La mayor emisión de COVs desde grandes instalaciones de combustión, es decir, refinerías, industrias de combustión de carbón, etc. se producen durante

periodos cortos, donde se alcanzan los máximos niveles de emisión durante la apertura y cierre de estas instalaciones de combustión, durante el funcionamiento a plena carga o simplemente después de alimentar estas instalaciones de quema de combustibles sólidos con el nuevo material (Seir, 1997). La composición de COVs varía considerablemente con los diferentes tipos de combustibles. Según un estudio realizado por Veldt (1992), se muestra como durante la combustión de madera, se emiten cantidades significantes de alquenos, bencenos, y otros hidrocarburos aromáticos a la atmósfera (Tabla 1.7). Durante la combustión de fuel-oil se emiten cantidades significativas de alcanos de peso molecular alto y etano, y en la combustión del carbón el componente que se emite mayoritariamente es el metano (Hewitt, 1999). El transporte terrestre por carretera es la mayor fuente móvil de consumo de combustible, y por consiguiente, la fuente móvil responsable de la mayor parte de las emisiones generadas por procesos de combustión (Hewitt, 1999). Las emisiones de CH₄ y COVs generados por los motores de los vehículos se encuentran en función del contenido de CH₄ en el combustible del motor, la cantidad de hidrocarburos que pasan sin quemarse a través del motor, y el control post-combustión existente (Perry & Gee, 1995). Las emisiones de COVs provenientes de las fuertes descargas de gas de los vehículos de motor dependen de parámetros como la velocidad del vehículo, la carga de motor, la temperatura ambiente en relación con la temperatura de encendido (arranque en frío) y la pendiente de los caminos (Gertler et al., 1996; Nagornov et al., 2005; PEIT, 2005). Con respecto a la velocidad, decir que un vehículo cuando más contamina es en situaciones de atascos, al estar continuamente poniéndose en marcha el vehículo, con cambios cortos y forzados. La carga es un factor influyente ya que cuanto más pesado es el vehículo la fuerza de empuje para hacerlo mover es mayor y en consecuencia la contaminación (PEIT, 2005).

Uba (1995), estudió la dependencia lineal entre las emisiones de COVs en el arranque en frío de los vehículos. Las emisiones de COVs en arranque en frío son inferiores en los días calurosos de verano que los días fríos de invierno.

Tabla 1.7. Composición estimada de la emisión de COVs desde instalaciones de combustión (Veldt, 1992).

Compuesto	Carbón (%)	Madera (%)	Fuel-oil (%)	Gas (%)
Alcanos				
Metano	75	25	10	75
Etano	3,75	7,5		12
Propano	2,5	1,13		4
Butano		0,38		
Alcanos > C ₄	1,25	2,25		
Alcanos no especificados			65	
Alquenos				
Eteno	7,5	22,5		1,8
Propeno	1,25	4,5		0,6
Buteno		0,38		0,6
Penteno		1,5		
Alquenos > C ₃	1,25			
Alquenos no especificados			10	
Alquinos				
Etino	1,25	7,5		
Propino		0,38		
Hidrocarburos Aromáticos				
Benceno	1,25	11,25		
Tolueno	0,25	3,75		
o-xileno	0,09	0,38		
m-xileno	0,08	0,54		
p-xileno	0,08	0,55		
Etilbenceno		0,38		
Aromáticos no especificados			5	
Aldehídos				
Formaldehído		1,5		1,8
Acetaldehído		0,75		0,12
Propanoaldehído				0,04
Aldehídos > C ₄		2,25		0,04
Aldehídos no especificados			10	
Cetonas no especificadas		1,13		
COVs no especificados	4,5	3		

A una temperatura ambiente de 10 °C las emisiones de COVs a través del tubo de escape del vehículo están entre 6 y 7 g, sin embargo, a una temperatura de -10 °C las emisiones de COVs son aproximadamente tres veces superior (Uba, 1995). También se han estudiado las diferencias de emisión de COVs por

vehículos en función de la pendiente del terreno. Estas emisiones son significativamente más altas en los caminos con una pendiente positiva y negativa y es menor en caminos con una pendiente del 0% (UBA, 1995).

1.3. Producción, Tratamiento, Almacenamiento y Distribución de Combustibles Fósiles

La producción, fabricación, almacenamiento y distribución de combustibles fósiles representan una amplia gama de procesos y comprende una gran variedad de actividades que producen emisiones de COVs. Según Friedrich & Obermeir (1999), las plataformas de producción de combustibles son fuentes emisoras de COVs, como resultado de procesos como; (1) la separación del crudo, del gas natural y del agua, (2) tratamiento y reinyección del gas, (3) tratamiento del agua producida, etc. En la fabricación del petróleo, éste se refina y se convierte en crudo y en una gran variedad de subproductos, todos estos procesos que intervienen en la transformación emiten innumerables cantidades de COVs (McInnes, 1996) (Tabla 1.8).

Tabla 1.8. Composición de la emisión de COVs no metanizados desde la producción de crudo y la salida de gas natural. Valores dados en porcentajes (McInnes, 1996).

Compuesto	Fabricación de crudo (%)	Salida gas natural (%)
Etano	6	72
Propano	19	14
Butano	30	7
Pentano	17	2
Hexano	8	4
Heptano	10	0
Octano	7	0
Cicloparafinas	2	0
Benceno	0	0

El almacenamiento y distribución de combustibles fósiles líquidos son fuentes potenciales de COVs (Friedrich & Obermeir, 1999). La gasolina se

utiliza en grandes cantidades y representa un producto con una volatilidad muy alta (Friedrich & Obermeir, 1999). La utilización del crudo también es una fuente importante de emisiones de COVs, aun cuando la volatilidad del combustible diesel, del aceite de combustible ligero y otros productos de petróleo son más bajos que los de la gasolina o incluso el crudo (Friedrich & Obermeir, 1999).

En la cadena de distribución de combustibles fósiles se produce la evaporación parcial de líquidos y como resultado emanaciones de COVs (Veldt, 1992). Las variaciones de temperatura y presión barométrica provocan cambios en el nivel de los líquidos en los tanques debido al llenado o vaciado de estos contribuyendo al aumento de las emisiones de COVs (Veldt, 1992) (Tabla 1.9).

Las medidas para controlar la evaporación de crudo o componentes de las gasolinas desde los tanques de almacenamiento y distribución en refinerías u otros depósitos provisionales, incluyen un mejor sellado de dichos depósitos así como la instalación de flotadores internos adheridos al techo de los depósitos que controlan el nivel de gases en el interior (Veldt, 1992). Las emisiones desde las estaciones de expedición de combustibles (gasolineras, etc.) pueden reducirse mediante la instalación sistemas de control de gases en las líneas de suministro o sistemas de recuperación de vapor de gases en las pistolas de suministro en las estaciones de combustibles.

Tabla 1.9. Composición estimada de la emisión de COVs no metanizados desde la evaporación de gasolinas a temperatura ambiente. Valores dados en porcentajes (Veldt, 1992).

Compuesto	%
Alcanos	
Propano	1,0
N-butano	17,0
Isobutano	7,0
n-pentano	8,0
Isopentano	28,0
Hexano	20,0
Otros alcanos > C ₆	5,0
Alquenos	
Butano	3,0
Centeno	5,0
Otros alquenos > C ₅	3,0
Hidrocarburos Aromáticos	
Benceno	1,0
Tolueno	1,5
Xilenos	0,5

1.4. Uso de Disolventes

En los países industrializados, la aplicación de disolventes o productos que contienen disolventes es una de las fuentes principales de contaminación de COVs (Hewitt, 1999). Cuando hablamos de disolventes hacemos referencia a disolventes orgánicos. El término de disolventes comprende sustancias que no sólo son hábiles para disolver otras sustancias en un aspecto puramente físico,

sino para clasificar otro tipo de sustancias como propelentes usados en los spray o en el procesado de la espuma sintética, agentes extractores o refrigerantes (Friedrich & Obermeir, 1999). La aplicación de pintura y barnices, la impresión con tintas, el uso de adhesivos, o los agentes limpiadores son una fuente importante de emisión de COVs. En un estudio realizado por organismos como el FCI (1987), determinaron que los principales COVs emitidos por las pinturas y los productos de limpieza son el isopropanol y el aguarrás o bencina mineral, los barnices emiten principalmente butanol y butil-acetato, los pegamentos y adhesivos emiten principalmente benceno y tolueno, por último los productos de limpieza emiten principalmente etanol y butano (Tabla 1.10).

Las emisiones de COVs por parte de disolventes orgánicos son atribuibles a una gran variedad de fuentes. Por consiguiente es obvio que las medidas de control de las emisiones de COVs por parte de los disolventes deben enfocarse a medidas de control desde el momento de su fabricación. Estas medidas pueden ser; un uso intensificado de productos con bajas cantidades de disolventes o libre de ellos, como por ejemplo barnices basados en agua, un uso intensificado de disolventes orgánicos con un punto de ebullición elevado como por ejemplo, los aceites con puntos de ebullición alto que se usan para limpiar en la industria de impresión y por último, los procesamientos industriales con uso reducido de disolventes como por ejemplo, la limpieza y desengrasado en las industrias metalúrgicas.

Tabla 1.10. Emisión de Disolventes por diferentes productos. Valores dados en porcentajes (Hewitt, 1999). ^a Bräutigam & Kruse (1992); ^b IPP (1992); ^c IKW (1992).

Tipos de Productos	Barnices industriales ^a	Pinturas y derivados ^a	Adhesivos ^a	Agentes limpiadores ^{a,b}	Productos higiene personal ^{a,c}
Propano					2,4
Butano					20,0
Pentano					2,0
Bencina mineral	2,7	3,1	27,5	8,7	
Aguarrás	3,2	23,6	2,1	17,0	
Terpenos	0,1			6,0	
Hidrocarburos alta volatilidad		0,2		3,2	
Tolueno	2,5	7,9	20,1	1,3	
Xilenos	5,7	4,1	2,0	0,8	
Disolventes nafta ligeros	6,9	0,9	0,2	0,4	
Disolventes nafta pesados	2,1	0,2		0,2	
Metanol	1,0	1,9		2,4	
Etanol	0,4		0,5	8,7	44,4
Isopropanol	4,2	22,3	1,7	40,8	4,9
Butanol	17,9				
Pentanol	0,1				
Alcohol bencílico	0,3				
Tetrahidrofurano			0,3		
Etilenglicol				5,2	
Propilenglicol					5,9
Etilglicol	10,3			0,2	
Dimetileter					18,2
Metoxipropanol	6,0				
Acetona	4,9	1,2	5,2		2,2
Metil etilcetona	3,1	13,1	9,7		
Metilisobutil cetona	1,2		1,7	0,2	
Ciclohexanona	0,4				
Alcohol diacetona	1,1				
Trimetilciclo hexanona	1,2				
Metil acetato	1,5	4,0	3,5		
Etil acetato	6,5	16,6	17,5	0,3	
Propil acetato	0,3	0,9	0,9		
Butil acetato	15,1		0,2		
1,1,1 tricloroetano	0,5		5,2	4,6	
Tricloroetano	0,3		1,7		
Tetracloroetano	0,5				

1.5. Procesos Industriales

Existe una gran variedad de procesos industriales que causan emisiones de COVs. Los procesos industriales más importantes son aquellos relacionados con la producción de productos químicos orgánicos y productos que contienen disolventes orgánicos (etileno, propileno, cloroetileno y estireno, productos similares, pinturas y adhesivos), madera aglomerada y comida (pan, bollerías) y

bebidas (vino, cerveza y refrescos). Un estudio realizado por Obermeier et al. (1995), en la industria química alemana se constataba como el benceno y la acetona eran los productos de mayor emisión (Tabla 1.11).

Tabla 1.11. Emisión de COVs desde la industria química en Alemania. Valores dados en porcentajes (Obermeier et al., 1995).

Compuesto	%	Compuesto	%
Pentano	3,0	Tetrahidrofurano	1,9
Benceno	20,4	Acetona	10,7
Aguarrás	8,3	Metil etil cetona	0,7
Etino	1,3	Metil isobutil cetona	1,5
Tolueno	4,2	Etil acetato	3,2
Xileno	3,1	Butil acetato	6,2
Disolventes nafta ligeros	0,6	Triclorometano	2,4
Otros hidrocarburos	1,5	Tricloroeteno	0,5
Metanol	5,8	Fluorotriclorometano	2,5
Etanol	4,2	Otros COVs	0,6
Isopropanol	2,0	COVs identificados	14,8

Las emisiones de COVs debidas a la producción de madera aglomerada durante su secado, unión y apretado de las láminas de madera está constatada. Las emisiones de este proceso consisten principalmente en terpenos y aldehídos, sobre todo formaldehídos (Hewitt, 1999). Los procesos de fermentación son los principales responsables de las emisiones de COVs en la producción de pan en la industria alimentaria (basado en la levadura) y las bebidas alcohólicas (cerveza, vino), siendo el etanol el componente más emitido (Friedrich & Obermeier, 1999). Las medidas para el control de las emisiones de COVs por parte de la industria alimentaria incluyen modificaciones en el proceso de producción,

sustitución de sustancias que emiten COVs, y previenen las emisiones de COVs (Friedrich & Obermeir, 1999).

1.6. Procesos Biológicos

Los procesos biológicos en los que existe generación de COVs incluyen los procesos digestivos de los rumiantes, el manejo de estiércol animal, emisiones biogénicas por parte de las plantas, microorganismos, residuos y deposición de basuras orgánicas en los vertederos (Andreae & Crutzen, 1997). Gran parte de las emisiones de COVs presentes en la atmósfera proviene de las plantas (Lerdau et al., 1997). Los COVs biogénicos son muy diversos: desde el isopreno a los ácidos orgánicos, pasando por los terpenos, los alcanos, los alquenos, los alcoholes, los aldehídos o los ésteres (Valladares, 2004). Los COVs biogénicos son producidos en muchos tejidos vegetales y mediante diversos procesos fisiológicos (Valladares, 2004). Algunos COVs biogénicos pueden actuar como compuestos de defensa contra patógenos, como elementos de información en distintas partes de una misma planta, entre diferentes plantas, y entre plantas y animales y microorganismos (Lerdau et al., 1997; Shulaev et al., 1997). Otros COVs como el isopreno y los terpenos estabilizan las membranas celulares a altas temperaturas, estimulan la floración en plantas vecinas, e incluso pueden estar implicados en el desarrollo de incendios forestales (Peñuelas, 1996; Peñuelas & Lluisa, 2002). En la Tabla 1.12 aparecen reflejados los principales tipos de COVs emitidos por las plantas.

Los tres últimos procesos biológicos (microorganismos, residuos y deposición de basuras orgánicas en los vertederos) descritos por Andreae & Crutzen en 1997 incluyen procesos bacterianos que sintetizan CH₄ como principal COVs emitido. La magnitud de estos procesos y la cantidad de CH₄ y otros COVs emitidos es determinada por la acción humana. Junto al CH₄, en estos procesos de descomposición de materia orgánica en ambientes anaeróbicos se emiten también cantidades significativas de CO₂. El CH₄ creado en estos ambientes anaeróbicos, principalmente en vertederos, puede ser utilizado como biogás y ser fuente importante de energía. En el biogás de los vertederos están presentes en

cantidades trazas un gran número de COVs (Allen et al., 1997). Las emisiones de COVs procedentes de vertederos son generadas a partir de dos fuentes u orígenes distintos: (a) la volatilización de los compuestos orgánicos contenidos en los residuos, y (b) la formación de COVs durante las distintas etapas de degradación y descomposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) (Thomas & Barlaz, 1999). Además de los efectos negativos sobre la atmósfera tales como la contribución a la destrucción de la capa de ozono y al efecto invernadero, estos compuestos orgánicos volátiles son los responsables junto con otros gases como el sulfuro de hidrógeno, de los malos olores que se aprecian tanto en los vertederos como en sus alrededores.

Tabla 1.12. Principales tipos de COVs biogénicos (Singh & Zimmerman, 1992).

Compuesto	Fuente natural	Emisión global estimada (Tg C; Tg=10 ¹² g)	Reactividad (vida en la atmósfera en días)	¿Mecanismos de formación conocidos?
Metano	Arrozales, pantanos	319-412	4000	Si
Isopreno	Plantas	175-503	0,2	Si
Familia Monoterpenos	Plantas	127-480	0,1,2	Si
Dimetilsulfuro	Fitoplancton marino	15-30	<0,9	Si
Etileno	Plantas, suelos, océanos	8-25	1,9	Si
Otros COVs reactivos	Plantas	~260	<1	Si, excepto MBO
Otros COVs menos reactivos	Plantas, suelos,	~260	>1	Desconocida excepto el etanol

Otros COVs reactivos: *acetaldehído*, *2-metil-3-buten-2-ol(MBO)*, *familia hexenal*

Otros COVs menos reactivos: *metanol*, *etanol*, *ac. fórmico*, *ac. acético*, *acetona*

En la naturaleza también ocurren emisiones de COVs a la atmósfera por actividad volcánica, y a pesar de que estas emisiones son menores que las producidas por las actividades humanas, son también de interés por su potencial impacto en el cómputo global a la atmósfera. La mayor parte de las investigaciones sobre la emisión difusa de gases en volcanes activos se han centrado en el CO₂ por ser uno de los componentes mayoritarios de los gases disueltos en los magmas, pero además de esta emisión existen emisiones de elementos trazas como los COVs.

1.7. Datos de Emisiones

Las estimaciones sobre la emisión total de COVs no metanizados a escala global varían en un amplio rango (Hewitt, 1999). Según los datos aportados por el FCI (1987) se sugiere una emisión anual de COVs no metanizados de 100 millones de toneladas por año, mientras que Cullis & Hirschler (1989) estimaron en 1989 la emisión global de COVs en 235 toneladas de millones por año. McInnes, 1996, aporta nuevos datos sobre la emisión de COVs no metanizados y CH₄ a escala europea. En la Tabla 1.13 se presenta la base de datos CORINAIR (Inventario europeo de emisiones) basada en la información aportada por McInnes (1996), que comprende datos de emisión de COVs no metanizados y metano de 29 ciudades europeas.

Tabla 1.13. Emisiones de COVs no metanizados y metano en 29 países Europeos de acuerdo con el inventario CORNAIR 1990. Valores dados en 1000 toneladas por año. (SNAP, Nomenclatura Seleccionada para Contaminación atmosférica) (McInnes, 1996).

SNAP		COVs	CH ₄
1	Energía pública, cogeneración y plantas de calefacción	55	43
101	Alumbrado público y plantas de cogeneración	45	36
102	Plantas municipales de suministro calefacción	8	7
2	Comercios, instituciones y consumo residencial	989	619
3	Combustión industrial	154	92
301	Combustión industrial en ollas, turbinas de gas y estaciones de energía	52	39
302	Procesos en hornos sin contacto	46	10
303	Combustión industrial (procesos con contacto)	54	42
4	Procesos industriales	1220	76
401	Industrias petrolíferas, refinerías	249	9
402	Industrias del metal, acero y minería	58	50
403	Industria metalúrgica no ferrosa	3	1
404	Industria química inorgánica	117	7
405	Industria química orgánica	401	4
406	Industria maderera, papelera, pulpa, alimentación y bebida	393	2
407	Plantas de refrescos	0	0
5	Extracción y distribución de combustibles fósiles	1376	10408
501	Extracción y primer tratamiento del combustible sólido	3	7505
402	Extracción, primer tratamiento y carga de combustibles líquidos	348	133
503	Extracción, primer tratamiento y carga de combustibles gaseosos	136	71
504	Distribución de combustibles líquido (excepto gasolina)	171	1
505	Distribución de gasolinas	597	0
506	Redes de distribución de gas	121	2698
6	Uso de disolventes	4920	0
601	Aplicación de pinturas	1924	0
602	Desengrasado y limpieza en seco	525	0
603	Manufacturación de productos químicos	673	0
604	Uso de otros disolventes y actividades relacionadas	1755	0

SNAP		COVs	CH ₄
7	Transporte rodado	6756	200
701	Coches de pasajeros	3457	150
702	Vehículos ligeros < 3,5 t	383	12
703	Vehículos pesados > 3,5	665	21
704	Ciclomotores y motocicletas < 50 cm ³	318	6
705	Ciclomotores y motocicletas > 50 cm ³	383	13
7'6	Evaporación de gasolina desde vehículos	1550	0
8	Otras fuentes móviles y maquinarias	677	25
801	Vehículos de caminos	417	14
802	Vías férreas	33	1
803	Canales interiores	29	0
804	Actividades marinas	125	7
805	Aeropuertos	71	4
9	Tratamiento de agua y actividades de deposición	507	8752
901	Tratamiento de agua residual	32	211
902	Incineración de residuos	10	10
903	Lodos	16	155
904	Vertederos	45	7932
905	Producción de compost desde residuos	0	27
906	Producción de biogas	0	40
907	Quema al aire libre de residuos agrícolas	401	358
908	Letrinas	0	18
10	Actividades agrícolas	759	14,93
1001	Cultivos con fertilizantes	267	1,017
1002	Cultivos sin fertilizantes	77	134
1003	Quema de rastrojos	34	35
1004	Cría animal (fermentaciones)	0	9385
1005	Cría animal (excreciones)	380	4220
	Total de emisiones antropogénicas	1741	35009

Estas 29 ciudades europeas han sido Austria, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Republica Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Lاتفيا, Lituania, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza y Reino Unido. Se puede apreciar claramente como el tráfico rodado es la fuente más importante de emisiones de COVs no metanizados en Europa. Destacan dentro de esta categoría el uso del automóvil seguido por las emisiones furtivas de COVs no metanizados provenientes de la evaporación de gasolina desde los propios vehículos. El uso de disolventes es la segunda fuente de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera, dentro de este sector destacan el uso de barnices y la aplicación de pinturas. La tercera y cuarta de emisión de COVs no metanizados son la extracción y distribución de combustibles fósiles y los procesos industriales.

1.8. Estado del Arte

Hoy en día existe, cada vez más, una mayor preocupación por el medio ambiente y una mayor inquietud por su conservación. El hecho de que los ciudadanos dispongan de mayor información sobre los estudios, informes, campañas medioambientales, etc., ha generado una conciencia medioambiental colectiva en la sociedad. La importancia de estudiar, conocer y controlar las emisiones de sustancias contaminantes al medio ambiente es cada día más patente.

Todos los días, grandes cantidades de compuestos orgánicos volátiles son emitidos a la atmósfera desde fuentes antropogénicas y fuentes naturales. La necesidad de vigilar las concentraciones de COVs en la atmósfera se deriva principalmente de sus efectos medioambientales y sus repercusiones sobre la salud humana. Sin embargo, para poder planear y controlar su impacto, es esencial conocer las fuentes de emisión, su distribución atmosférica y las transformaciones químicas que sufren los COVs en la atmósfera.

Los COVs fueron identificados por primera vez en la década de los 50 en estudios sobre la formación del smog fotoquímico (Haagen-Smit, 1952), desde ese momento hasta hoy en día su conocimiento ha crecido enormemente. En los últimos años las técnicas diseñadas para el análisis de COVs en la atmósfera han aumentado el número de compuestos determinados, así como, sus límites de detección. Aunque se ha avanzado en el conocimiento de las transformaciones químicas que sufren los COVs y sus impactos producidos en la atmósfera, se mantiene cierto grado de incertidumbre respecto al número y origen de las diferentes fuentes que los originan además del total de COVs emitidos por dichas fuentes.

La bibliografía existente respecto a las fuentes de emisión debidas al tráfico es relativamente escasa, los trabajos publicados sobre las emisiones de COVs en túneles se exponen en la Tabla 1.14.

Tabla 1.14. Ensayos realizados en túneles para estimar las emisiones de COVs desde fuentes móviles.

Referencia	Localización del túnel	COVs
1993 (Staehelin et al., 1998)	Gubrist, Zurich (Suiza)	C2-C10
1992 (John et al., 1999)	Gubrist, Zurich (Suiza)	C6-C10
2002 (Stemmler et al., 2005)	Gubrist, Zurich (Suiza)	C2-C8
1997 (Schmid et al., 2001)	Tauern (Austria)	C6-C10
1998 (Kurtenbach et al., 2001)	Wuppertal (Alemania)	C2-C10
1996 (Touaty & Bonsang 2000)	Thiais, Paris (Francia)	C2-C6
1990 (Haszpra et al., 1994)	Budapest (Hungría)	C2-C10
1970 (Loneman et al., 1974)	Manhattan (USA)	C6-C10
1976 (Loneman et al., 1986)	Manhattan (USA)	C6-C10
1994/97(Krichstetter et al., 1999)	Bahía San Francisco (USA)	C2-C9
1999 (Kean et al., 2001)	Bahía San Francisco (USA)	OVOCs
1992 (Gertler et al., 1996)	McHenry/Tuscarora (USA)	C2-C10
2000 (McGaughey et al., 2004)	Houston (USA)	C5-C8
1992 (Pierson et al., 1996)	Tuscarora/Pensilvania (USA)	C6-C10
1992 (Sagebiel et al., 1996)	Tuscarora/Pensilvania (USA)	C6-C10
1998 (Múgica et al., 1998)	Méjico DF (Méjico)	C6-C10
1998 (Colon et al., 2001)	Sao Paulo (Brasil)	C6-C10
1994 (Duffy & Nelson, 1996)	Sydney (Australia)	C2-C10
2000 (Hwa et al., 2002)	Taipei (Taiwán)	C2-C9
2000 (Na et al., 2002)	Seúl (Corea del Sur)	C2-C9

OVOCs (Compuestos orgánicos oxigenados)

De esta recopilación bibliográfica destacamos el trabajo realizado por Loneman et al. (1974, 1984), dicho estudio fue uno de los primeros trabajos de

investigación realizados en el interior de túneles y es de referencia obligada en la mayoría de los artículos científicos sobre emisión de COVs no metanizados por el tráfico rodado. También queda reflejado en dicha tabla el estudio interesantísimo llevado a cabo por Na et al. (2002), en el túnel de Sangdo en Seúl, Corea del Sur, durante tres estaciones diferentes.

La mayor parte de los trabajos publicados sobre COVs en vertederos se centran en la determinación de los niveles de concentración de COVs en el biogas. Entre los trabajos más interesantes publicados al respecto citamos el realizado por Kim et al. (2006), quien estudió las concentraciones de COVs en seis vertederos coreanos (Nan ji Do, Woon Jung Dong, San Pong Dong, Hoei Chun Dong y No Hyung Dong). También destacamos el estudio llevado a cabo por Zou et al. (2003), quien realizó un estudio sobre la concentración de COVs en el biogas del vertedero de Datianshan en China. James et al. (1997) y LaRegina et al. (1986) realizaron diversos estudios sobre la concentración de COVs en el biogas de vertederos irlandeses y estadounidenses. Los trabajos de investigación sobre los niveles de emisión de contaminantes en vertederos son escasos, las publicaciones existentes se corresponden a los estudios realizados en diferentes vertederos por Kim et al. (2006) quien ha publicado recientes trabajos sobre la emisión de ciertos COVs por vertederos coreanos. Los estudios que utilizan la misma metodología presentada en esta tesis doctoral para la estimación de COVs en vertederos son inexistentes, existen trabajos publicados sobre la estimación de biogas en vertederos utilizando la cámara de acumulación como los publicados por Cardellini et al., 2003a y Nolasco et al., 2008. Cardellini et al. (2003a) realizó un interesante y pionero estudio sobre el flujo de CH₄ emitido por vertederos y desde áreas geotermales y volcánicas utilizando la técnica de la cámara de acumulación. En el trabajo de Nolasco et al. (2008) se estimaron las emisiones de CH₄ y CO₂ a la atmosfera por el vertedero clausurado de Lazareto.

Cuando consultamos la bibliografía sobre emisiones de COVs por depuradoras, granjas y volcanes podemos observar como realmente existe una escasez de publicaciones al respecto en este tema. Los trabajos publicados más

relevantes han sido realizados por Escalas et al. (2003) que llevo a cabo un trabajo de investigación sobre la EDAR de Manresa, Cataluña, junto con el realizado por Nikolaou et al. (2002) que estudió las concentraciones de COVs en las aguas de una EDAR en Grecia. De los trabajos desarrollados sobre los niveles de concentración de COVs en granjas agropecuarias, destacamos el realizado en una granja de vacas en Washington por Filipi et al. (2005). Capaccioni et al. (1993, 2004) estudió las concentraciones de benceno y tolueno en diferentes ambientes volcánicos. Mientras que Fischer et al. (2006) estudió los niveles emisión de COVs en el volcán Momotombo, Nicaragua. Ambos trabajos junto con los realizados por Nolasco et al. (2004, 2006b y 2006c) son los estudios más interesantes sobre concentración y emisión de COVs en sistemas volcánicos activos.

La escasez de publicaciones científicas refleja una falta de conocimiento respecto a las fuentes de emisión de COVs. La ausencia de dicho conocimiento conlleva una falta de información que se traduce en un menor control de dichas emisiones contaminantes de origen antropogénico. Por tanto se hace necesario un mayor conocimiento de las fuentes contaminantes, cantidad y naturaleza de dichas emisiones.

Con respecto a los niveles de inmisión en la baja troposfera los estudios encontrados al respecto son abundantes excepto para estudios de distribución altitudinal de los mismos. Los principales trabajos publicados al respecto han sido realizados en numerosos lugares; Budapest, Hungría (Haszpra et al., 1991); Paris, Francia (Coursimault et al., 1995); Westfalia, Alemania (Pfeffer 1994); Birmingham, Reino Unido (Derwent et al., 1995); Atenas, Grecia (Moschonas & Glavas, 1996; Kim et al., 1997); Roma, Italia (Brocco et al., 1997); Seúl, Corea (Kim et al., 1997, Na & Kim 2001); Bangkok, Tailandia; Manila Filipinas; Caracas, Venezuela; Quito, Ecuador; Santiago de Chile, Chile; Sao Paulo, Brasil (Gee & Sollars, 1998, Colon et al., 2001); Munich, Alemania (Rappenglück & Fabian, 1999); Changchun, China (Liu et al., 2000); Izmir, Turquía (Erygit 2000, Muezzinoglu et al., 2001); Yokohama, Japón (Yamamoto et al., 2000); La

Coruña, España (Fernández-Martínez et al., 2001); Ulsan, Corea (Na et al., 2001a); Londres, Reino Unido (Kim et al., 2001); Karachi, Pakistán (Barletta et al., 2002); Lille, Francia (Borton et al., 2002); Hong Kong, China (Chan et al., 2002, Lee et al., 2002); Navarra, España (Parra et al., 2006); Mumbai, La India (Srivastava et al., 2005) y Dae Gu, Corea (Kim et al., 2008).

El presente trabajo de investigación contribuye a un mayor conocimiento de las diferentes fuentes emisoras de COVs a la atmósfera, así como la cantidad y naturaleza de dichas emisiones para contribuir a un mejor control de las mismas en este ecosistema insular. Otro de los aportes de este trabajo de investigación es incrementar el conocimiento de los niveles de inmisión de COVs en la baja troposfera de la isla de Tenerife que es escaso.

1.9. Objetivo de la Tesis Doctoral

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral es cuantificar los niveles de emisión e inmisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados (COVs no metanizados) en la Atmósfera de un Ambiente Insular Densamente Poblado como es el caso de la Isla de Tenerife (Fig. 1.5). Con la finalidad de cumplimentar este objetivo principal se materializaron los siguientes objetivos específicos:

(1) Cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife.

(2) Cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos en la isla de Tenerife.

(3) Cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife.

(4) Cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por actividad industrial en la isla de Tenerife.

(5) Cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en la isla de Tenerife.

(6) Cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide.

(7) Cuantificar los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife.

(8) Distribución vertical de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife.

1.10. Marco de estudio

La isla de Tenerife es la mayor de las siete islas que componen el Archipiélago Canario y está situada entre los paralelos 28 y 29 N y los meridianos 16 y 17 W (Fig. 1.5). Tenerife tiene una extensión de 2.034 Km² de superficie y presenta una forma triangular, alzándose en su centro el Pico del Teide, que con sus 3.718 m snm (sobre el nivel del mar) es el punto más elevado de la isla y de toda España. Tenerife es una isla de origen volcánico lo que le confiere una abrupta orografía. Esta accidentada orografía insular modifica localmente las condiciones climáticas originando una exquisita variedad de microclimas. La existencia de microclimas da como resultado un territorio de múltiples paisajes, formas y una enorme diversidad ecológica y, por lo tanto, de hábitats naturales, que se manifiestan en la vegetación insular, constituida por una flora rica y variada, entre las que destacan numerosos endemismos canarios y tinerfeños. A grandes rasgos, el clima de Tenerife es moderado, templado y suave en cualquier estación del año. Las temperaturas medias fluctúan entre los 17-18 °C en invierno y los 24-25 °C en la estación estival. Es muy común encontrar durante los meses de invierno temperaturas calidas que permiten disfrutar del sol en áreas costeras y, sin embargo, a 3.000 metros por encima del nivel del mar poder contemplar el Teide completamente nevado. El suelo volcánico de la isla tiene un carácter poroso y permeable lo que origina que la mayor parte del agua que se consume en la isla procede del agua de infiltración recogida en pozos y de galerías, que son importantes sistemas que sirven para extraer el recurso hídrico del acuífero. Tenerife dispone en la actualidad de más de un millar de galerías perforadas.



Figura 1.5.- Foto satélite de Tenerife.

La mayor contribución a la contaminación atmosférica en Tenerife deriva de las actividades antropogénicas que tienen lugar en la isla, principalmente la combustión de elementos fósiles, bien sea para la automoción, procesos industriales de producción de energía, fraccionamiento y separación de productos derivados del petróleo o de la depuración del agua. A estas fuentes hay que añadir los vertederos, las extracciones de áridos y las pequeñas industrias. Particularmente en Santa Cruz de Tenerife el transporte terrestre por carretera es la mayor fuente móvil de consumo de combustible, y por consiguiente, la fuente móvil responsable de la mayor parte de las emisiones generadas por procesos de combustión. La provincia de Tenerife ostenta un índice de propiedad de coches por habitante (1 coche por cada 1.45 habitantes, según cifras del Cabildo de Tenerife en 2006) que es muy superior a las realidades deseables para el mantenimiento de un desarrollo sostenible en este frágil ambiente insular. La llegada de turistas a la isla hace que aumente la población estacional en Tenerife y en consecuencia el alquiler de coches y por ende el parque móvil de la isla. Estos hechos han originado un desmesurado aumento del parque automovilístico, ocupando la provincia de Santa Cruz de Tenerife el tercer lugar del país tras Baleares y Gerona. De 562.143 vehículos que había en la provincia en el año 2000 hemos pasado a 630.950 vehículos en 2005 (Datos de la DGT).

El número de habitantes en el municipio de Santa Cruz asciende a 221.000 (según datos de 2005) mientras que el censo de vehículos en el municipio asciende, según datos de la Unidad de Tráfico, a 146.840, de donde se desprende que cada familia santacrucera ha de mantener a su cargo a 2,6 vehículos, tomando como muestra una familia de cuatro miembros. La situación del tráfico en la capital se agrava si tenemos en cuenta que entran y salen de la ciudad 235.500 coches al día y que gran parte de los vehículos que circulan por la ciudad lo hacen con un solo ocupante, lo que se traduce en una baja rentabilidad del transporte privado a la hora de acceder a la ciudad. Actualmente en Tenerife se ha optado por modificar el territorio en función del modelo de transporte, en vez de adaptar el modelo de transporte a las características orográficas propias de este frágil ecosistema insular.

1.11. Estructura de esta Tesis Doctoral

Este trabajo de investigación tiene una estructura lógica de acuerdo con los objetivos planteados. Este trabajo de tesis doctoral ha sido dividido en 9 capítulos y 3 anexos. Tras una extensa introducción general y posterior presentación del estado del arte de las emisiones de COVs no metanizados a la atmósfera se definen los objetivos de esta tesis doctoral. Cada uno de estos objetivos es tratado como un capítulo independiente, que es dividido a su vez en introducción, metodología, resultados, discusión y conclusiones. Los capítulos en que dividimos esta memoria son:

Capítulo 2: este capítulo está dedicado a las emisiones de COV no metanizados a la atmósfera por el tráfico rodado de vehículos por carretera en la isla de Tenerife. La primera parte de este capítulo contempla una pequeña introducción sobre las emisiones de COVs a la atmósfera por el tráfico rodado, posteriormente se expone una descripción detallada de la instrumentación empleada para el desarrollo de este trabajo (toma de muestras, análisis y cuantificación de COVs no metanizados, etc.), luego se describe el diseño experimental realizado y por último se desarrolla el tratamiento estadístico de los datos. En la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados

obtenidos en nuestro ámbito de estudio y se exponen los resultados obtenidos por otros autores en ambientes diferentes. En este apartado se compara y discute los resultados obtenidos por nosotros con los expuestos por otros autores.

Capítulo 3: este capítulo está dedicado a las emisiones de COV no metanizados a la atmósfera por vertederos en la isla de Tenerife. En una primera parte de este capítulo hacemos una pequeña introducción sobre las emisiones de COVs a la atmósfera por vertederos, se explica cual es la dinámica de funcionamiento de un vertedero; sistema de control de gases, flujos de emisión controlada y no controlada observados, etc. Posteriormente se expone una descripción detallada de la instrumentación empleada para el desarrollo de este trabajo (toma de muestras, análisis de COVs no metanizados, análisis de biogas del vertedero, medidas in-situ de la emisión de CO₂ por vertederos, etc.), se realiza una descripción del diseño experimental realizado y por último se desarrolla el tratamiento estadístico de los datos. En la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados obtenidos en el vertedero de Arico (2004 y 2005) y el vertedero de Lazareto (2005) en los años de estudio y se exponen los resultados obtenidos por otros autores en diferentes vertederos alrededor del mundo. Finalmente entramos en el apartado de discusión de este capítulo, se compara; (1) las diferencias observadas en el vertedero de Arico en las dos campañas realizadas, (2) las diferencias observadas entre el vertedero de Arico y el vertedero de Lazareto, diferencias entre un vertedero operativo y otro clausurado, (3) diferencias entre las emisiones de estos dos vertederos insulares y resultados expuestos por otros autores en diferentes vertederos. Finalmente se redactan las conclusiones.

Capítulo 4: este capítulo está dedicado a las emisiones de COV no metanizados a la atmósfera por la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife. Al comienzo de este capítulo hacemos una pequeña introducción sobre el diseño y funcionamiento de una EDAR, se tratan los diferentes mecanismos a través de los cuales pueden producirse las emisiones de COVs a la atmósfera por EDAR, posteriormente se expone una descripción

detallada de la instrumentación empleada para el desarrollo de este trabajo (toma de muestras, análisis de COVs no metanizados), luego se describe el diseño experimental realizado y por último se desarrolla el tratamiento estadístico de los datos. En la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados obtenidos en nuestro ámbito de estudio y los obtenidos por otros autores en diferentes EDAR. Se discuten las diferencias observadas y se exponen las conclusiones.

Capítulo 5: este capítulo está dedicado a las emisiones de COV no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en la isla de Tenerife. La primera parte de este capítulo describe una pequeña introducción sobre las emisiones de COVs a la atmósfera por las industrias, posteriormente se expone una descripción detallada del desarrollo experimental. Como los resultados experimentales no fueron satisfactorios en la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados de emisiones de COVs no metanizados publicados en el inventario español de emisiones (EPER) con los publicados por otros autores en diferentes ámbitos de estudio. Finalmente se compara y discute dichos resultados y se detallan las conclusiones.

Capítulo 6: este capítulo está dedicado a las emisiones de COV no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en la isla de Tenerife. Se desarrolla en la primera parte de este capítulo una pequeña introducción sobre las emisiones de COVs a la atmósfera por las diferentes actividades agropecuarias y explotaciones ganaderas existentes, posteriormente se describe el diseño experimental realizado. En la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados obtenidos en nuestro estudio y se exponen los resultados obtenidos por otros autores en diferentes explotaciones agropecuarias. Finalmente entramos en el apartado de discusión de este capítulo donde se compara, discute los resultados obtenidos por nosotros con los expuestos por otros autores y se detallan las conclusiones.

Capítulo 7: este capítulo está dedicado a las emisiones de COV no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide. Introducimos las emisiones de

COVs a la atmósfera desde ambientes naturales, se muestra la dinámica de generación de COVs desde sistemas volcánicos, hidrotermales y áreas geotérmicas, posteriormente se presenta la instrumentación empleada para el desarrollo de este trabajo junto al diseño experimental realizado. En la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados obtenidos y se comparan con resultados obtenidos por diferentes autores en otros sistemas volcánicos. Posteriormente entramos en el apartado de discusión de este capítulo seguido de las conclusiones obtenidas del mismo.

Capítulo 8: este capítulo está dedicado a los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife. Realizamos una pequeña introducción sobre los niveles de inmisión de COVs a la atmósfera en la troposfera a escala regional y urbana. Comentamos la instrumentación empleada para el desarrollo de este trabajo y el diseño experimental realizado. En la segunda mitad de dicho capítulo se exponen los resultados obtenidos de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife durante 5 años consecutivos, desde 2003 a 2008, se exponen las diferencias diurnas y nocturnas observadas en los niveles de inmisión de COVs no metanizados en el ambiente urbano de Santa Cruz, también presentamos los niveles de niveles de inmisión observados altitudinalmente en la isla de Tenerife y por último se exponen los resultados obtenidos por otros autores en ambientes diferentes. Finalmente se compara, discute y se generan las conclusiones

Finalmente, el *Capítulo 9* de esta memoria ha sido dedicado a la presentación de las principales conclusiones que se pueden extraer de la labor realizada y las futuras líneas de investigación. Se incluye además los trabajos publicados asociados a la realización de esta Tesis Doctoral. Junto a estos capítulos se han incluido tres anexos, donde se añade información complementaria al capítulo 2 y 7.

Emisiones de
Compuestos Orgánicos
Volátiles no metanizados
a la atmósfera por el
tráfico de vehículos por
carretera en la Isla de
Tenerife



2.1 Introducción

2.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

2.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife

2.2.2 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

2.3 Resultados y Discusión

2.3.1 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife

2.3.2 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico en otros ambientes urbanos

2.4 Conclusiones

2.1 Introducción

El tráfico rodado es la fuente más significativa de contaminantes primarios a la atmósfera en el mundo industrializado (Staehelin et al., 1998). Numerosos estudios han demostrado que el tráfico de vehículos por carretera es la fuente más importante de COVs a la atmósfera en las áreas urbanas, mayores que las emisiones registradas por parte de las industrias (Chan et al., 2002). En Japón, los vehículos a motor son la fuente dominante de contaminación atmosférica (Kawashima et al., 2006). Estudios realizados en 2001 por el Instituto Japonés de Estudios Medioambientales, demuestran que las emisiones de los vehículos representan aproximadamente el 27% de las emisiones de hidrocarburos y el 66% de las emisiones de benceno a la atmósfera en este país (Kawashima et al., 2006). En ciudades industrializadas de Europa y EE.UU. la fuente más importante de COVs no metanizados a la atmósfera es el tráfico de vehículos por carretera y en menor medida los trenes, tractores agrícolas, y aviones durante el despegue y el aterrizaje (Nizich et al 1995; Berdowski et al., 1996; CORINAIR 1997). Las emisiones de COVs no metanizados de origen antropogénico en los EE.UU. originados por el tráfico de vehículos por carretera se corresponde con un 37% de las emisiones de COVs, mientras que para las ciudades de la Unión Europea este porcentaje asciende a un 43% (Guicherit, 1997). En Corea del Sur se ha estimado en un 70% la contribución de las fuentes móviles a la emisión total de hidrocarburos a la atmósfera de este país (MOE, 2001). En Taiwán el organismo responsable de la protección del medio ambiente, el CTCL, 1999, ha estimado en un 37% el aporte de COVs no metanizados a la atmósfera por parte de fuentes móviles (Hwa et al., 2002). Vega et al. (2000), estimaron la emisión de hidrocarburos a la atmósfera por parte del tráfico en un 55% del total de emisiones de hidrocarburos registrados en la ciudad de México.

La realización de medidas de la calidad del aire en el interior de túneles es el método más económico para evaluar la emisión de contaminantes a la atmósfera ocasionada por el tráfico de vehículos por carretera (Haszpra et al., 1994; Gertler et al., 1996; Múgica et al., 1998). El uso de los túneles tiene también sus

limitaciones, pero la composición de los hidrocarburos en el aire ambiente del interior de los túneles parece ser representativo de un amplio número de vehículos y tipos de combustible que caracterizan el tráfico en zonas urbanas (Lonneman et al., 1986). Recientemente se ha demostrado que los estudios sobre emisiones contaminantes por parte del tráfico en los túneles nos proveen de datos más realistas que los datos obtenidos en tests dinamométricos y simulaciones en laboratorios, ya que estos estudios cuentan con patrones de conducción reales y los resultados de emisión son más acordes con las emisiones reales (Lonneman et al., 1974; Staehelin et al., 1998; Hwa et al., 2002; Sakurai et al., 2002; Nolasco et al., 2003a, 2006a).

Otros autores han realizado estudios en otras ciudades del mundo similares al realizado en este trabajo de Tesis Doctoral. Caben destacar los realizados por Staehelin et al. (1998) y John et al. (1999) en el túnel de Gubrist, en Suiza. Pierson et al. (1996) realizó varios estudios en el túnel de Fort McHenry en Baltimore Harbor, Maryland. El túnel de Tuscarora Mountain en Pensilvania también fue objeto de estudio por Sagebiel et al. (1996). Hwa et al. (2002) desarrollo su investigación en el túnel de Taipei en Taiwan. El túnel de Sangdo en Seúl fue el escenario escogido por Na et al. (2002) y por último, Colón et al. (2001) realizó un estudio en el túnel del 9 de Julio en Sao Paulo, Brasil. Las investigaciones sobre la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en Tenerife se han realizado dentro de un túnel “laboratorio” localizado a la salida la capital de Tenerife (Figura 2.1).

El Túnel seleccionado para la realización de este estudio está localizado en la Avda. Tres de Mayo y tiene 1 Km de longitud, la circulación de vehículos en su interior ocurre en un único sentido y presenta una ligera pendiente en el tramo final del túnel. Además de la entrada principal de 87.036 m² de área, presenta dos accesos más; el primero a 365 metros de la entrada y el segundo acceso a 635 metros de la misma. Diariamente atraviesan este túnel unos veinte mil vehículos a una velocidad media de 60 Km/h para abandonar la ciudad.



Figura 2.1.- Vista panorámica del interior del Túnel de la Avda Tres de Mayo en el momento del estudio.

Según datos de la DGT, la isla de Tenerife soportaba en el año 2003 el 44% del parque móvil regional, es decir, casi la mitad del parque automovilístico existente en Canarias. Según datos de la DGT del año 2005, la Comunidad Autónoma de Canarias ocupaba el tercer puesto a nivel nacional de monitorización, destacando Santa Cruz de Tenerife como una de las provincias españolas que más densidad de tráfico soporta, con siete vehículos por cada diez habitantes. Además, en las islas Canarias se registran cifras de automóviles tan elevadas como las registradas en Madrid, siendo esta comparación de cifras posible ya que se tiene en cuenta la proporción de los aforos en los accesos tanto de Tenerife como de Madrid. Según cifras proporcionadas por el Cabildo Insular de Tenerife y datos de este informe de la DGT para el año 2005, el parque automovilístico de Tenerife supera la cifra de 550000 vehículos, mientras que la cifra de vehículos en toda la provincia es de 660517. A pesar de la elevada cantidad de vehículos que presenta el parque automovilístico en Tenerife, lo cierto es que la evolución en los últimos años ha sido bastante moderada. Según cifras de la DGT en 1999, la provincia de Tenerife contaba con 534378 vehículos mientras que la isla de Tenerife presentaba la cifra de 476000 vehículos, lo que implicaba 1 vehículo por cada 1.4 habitantes. Además, otras circunstancias tales como la orografía del terreno, la dispersión de los núcleos poblacionales de este entorno insular así como un transporte público deficiente y caro son también responsables del alto número de vehículos del parque móvil en la isla.

2.2 Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos

2.2.1. Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife

Las investigaciones realizadas sobre las variaciones espaciales y temporales de COVs no metanizados en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo nos han permitido estimar la emisión de dichos contaminantes generada por el tráfico de vehículos por carretera en S/C de Tenerife (Nolasco et al., 2003a, 2005a, 2006a). En una primera fase se procedió a la toma de 22 muestras del aire ambiente a lo largo del interior del túnel, con un espaciado de 50 metros y a las 14 horas de los días: 07/08/03, 17/03/04, 21/04/04, 24/06/04 y 08/10/04 (Figura 2.2). En una segunda fase de este estudio se procedió a la toma de 24 muestras del aire ambiente en un punto del interior del túnel, concretamente a 50 metros de la salida, desde las 06:00 hasta las 05:00 horas del siguiente día.



Figura 2.2.- Toma de muestras del aire ambiente en el interior del Túnel de la Avenida Tres de Mayo.

Los días de toma de muestras fueron 17 y 18 de septiembre de 2003, 11 y 12 de febrero de 2004, 27 y 28 de abril de 2004, 1 y 2 de julio de 2004 y 21 y 22 de octubre de 2004.

2.2.2. Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados

La determinación de COVs no metanizados en los diferentes ámbitos de estudio (túneles, vertederos, depuradoras, industria, volcanes, granjas

agropecuarias, baja troposfera) se ha realizado utilizando unos recipientes de acero inoxidable electropulido denominados canisters, de 400 cc de capacidad (Figura 2.3). Estos dispositivos están recubiertos internamente de xilonite, material flexible, transparente y resistente. Son pequeños tubos cilíndricos en cuyo interior se encuentra esta sustancia absorbente a la que se adhieren los gases cuando se introducen en el canisters. Estos recipientes son los recomendados por la Agencia de Protección Medioambiental de los EE.UU. (EPA, 1988) para la toma de muestras de COVs no metanizados. Antes de la toma de muestras se les hace previamente el vacío. Los canisters son capaces de conservar la muestra durante un mes sin que ésta se deteriore y han de conservarse en lugares secos y de poca humedad.



Figura 2.3- Fotografía en detalle de un canisters, botellas de acero inoxidable, cuyo interior está electropulido y en el cual la muestra del aire ambiente se introduce mediante vacío.

Una vez se procede a la toma de muestra con canisters, estos son trasladados al laboratorio del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER) donde son identificados y analizada su composición química. La identificación y cuantificación de COVs no metanizados presentes en las muestras tomadas en los diferentes ambientes de estudio de esta tesis doctoral se realizó mediante un cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3800, acoplado a un detector de masas modelo VARIAN Saturn 2000.

2.2.3. *Análisis de COVs no metanizados por Cromatografía de Gases Masas (GC/MS/MS)*

El GC/MS/MS consta de un cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3800 y un detector de masas modelo VARIAN Saturn 2000 que describimos a continuación (Figura 2.4).



Figura 2.4 Foto panorámica del cromatógrafo de gases GC/MS/MS modelo VARIAN Saturn 2000.

a) El cromatógrafo de gases VARIAN 3800 está dotado con una columna CP-sil 5CB de 60 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y un espesor de fase de 1 micra. Para realizar la preconcentración de muestra, el GC/MS/MS dispone de un preconcentrador de muestra o SPT (Sample Preconcentration Trap), capaz de enfriar la muestra a una temperatura de -40°C . Para la determinación de COVs no metanizados en las muestras tomadas en los diferentes ámbitos de estudio, el SPT preconcentra la muestra a baja temperatura durante un periodo de tiempo especificado de 5 minutos, con un caudal de 30 ml/min. Una vez transcurrido este tiempo, la muestra es desorbida, aplicando un programa de temperaturas que alcanza los 180°C . Durante esta fase de desorción el programa de temperaturas del SPT actúa aumentando gradualmente la temperatura desde -40 a los 180°C . Una vez desorbida la muestra, la temperatura del SPT asciende a 200°C y permanece a esta temperatura durante 6 minutos para garantizar la limpieza del SPT. La muestra pasa al inyector que se encuentra a 150°C , donde se le aplica una relación split/splitness 1:20, es decir, del flujo de muestra que entra, una parte pasa a la columna y otra parte sale del equipo sin pasar en ningún momento por la columna. En nuestro caso de cada 20 ml solo 1 ml pasa a la columna mientras que los otros 19 ml son expulsados. La columna también se somete a un

programa de temperaturas, pasando de una temperatura de -10°C hasta una temperatura de 130°C entre los minutos 0 y 8, alcanzando el horno al final del análisis una temperatura de unos 250°C . El flujo de la columna es de $1\text{ml}/\text{min}$ y el protocolo analítico es descrito en la metodología específica TO-14 de la Agencia de Protección Medioambiental de los EEUU (EPA) para compuestos orgánicos volátiles (EPA, 1988). La Figura 2.5 muestra un cromatograma típico de los COVs no metanizados presentes en el aire ambiente del interior del Túnel de la Av. Tres de Mayo, obtenido mediante el GC/MS/MS.

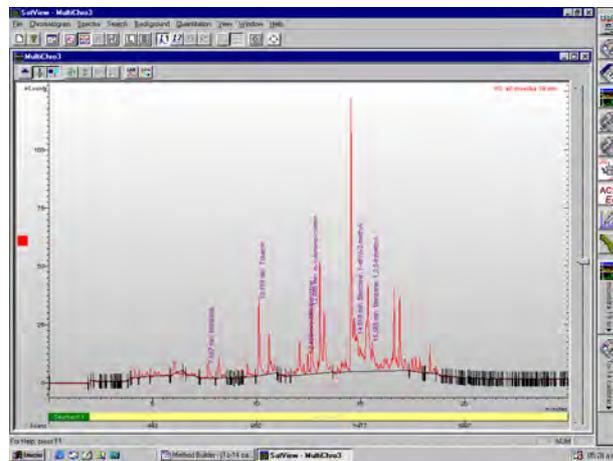


Figura 2.5.- Cromatograma de COVs no metanizados presentes en el aire ambiente del Túnel de la Avda. Tres de Mayo.

Los compuestos son introducidos desde la línea de transferencia en el analizador de trampa iónica, a través de la columna capilar (Figura 2.6).

b) El detector de masas modelo VARIAN Saturn 2000 analiza los iones en fase gas formados a partir de una muestra, en términos de su relación masa/carga y de su relativa abundancia en el espectro resultante. El espectro de masas es una representación gráfica de la intensidad del ión frente a la relación masa/carga (Figura 2.7). El Saturn 2000 crea el espectro de masas con un “Ion Trap Analyzer” (analizador de trampa iónica). El analizador de trampa iónica confina los iones dentro de una única región donde experimentan campos electromagnéticos dependientes del tiempo. El análisis de muestras usando una analizador de trampa iónica puede dividirse en varios pasos:

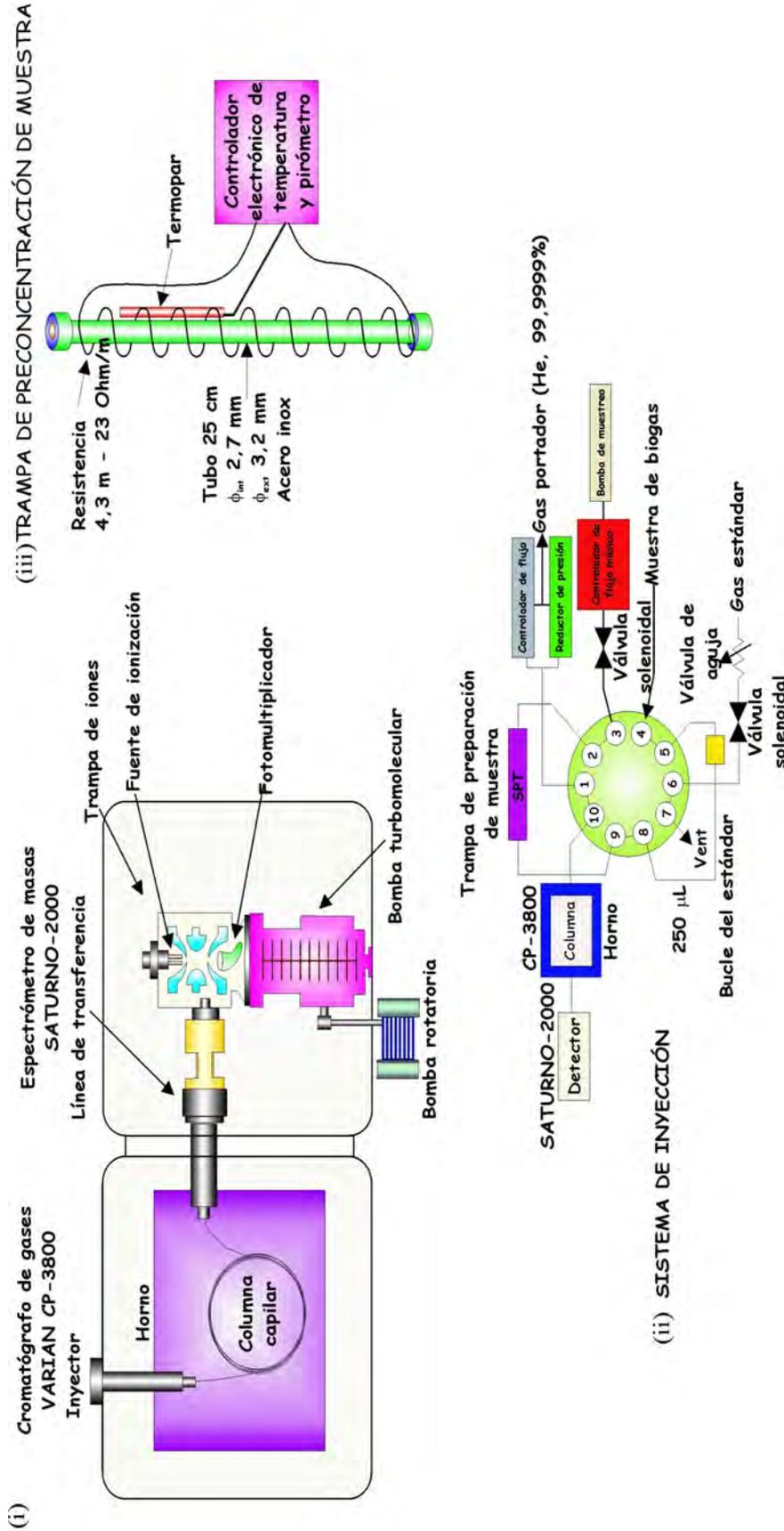


Figura 2.6.- (i) Diagrama del sistema GC/MS CP-3800/SATURNO-2000 empleado en la determinación de compuestos orgánicos volátiles en el aire ambiente del interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo. (ii) Sistema de inyección de muestras basado en el empleo de una válvula de vías y una trampa de preconcentración. (iii) Detalle del sistema de preconcentración de muestra.

1) Introducción de la muestra: los compuestos son introducidos desde la línea de transferencia al analizador de trampa iónica a través de la columna capilar directamente acoplada.

2) Ionización de la muestra: el compuesto es ionizado en el espectrómetro de masas de estas dos formas: a) desestabilizando su estructura molecular y provocando la salida de un electrón de algún lugar de la molécula (Ionización por impacto electrónico-EI) b) presurizando el MS con un gas reactivo seleccionado; por ejemplo el metano. La reacción ión-molécula ocurre entre el compuesto y el reactivo químico (Ionización Química-CI).

3) Fragmentación de la muestra: dependiendo de la estructura original del compuesto y del exceso de energía (interna) de desestabilización presente en la estructura, el compuesto ionizado (ión molecular) se rompe en varios trozos (fragmentación). Este proceso forma iones fragmentados e iones neutros.

4) Almacenamiento de iones: los iones producidos son almacenados y estabilizados en la cavidad de trampa iónica donde se desplazan en orbitas definidas. El gas Helio está también presente dentro de la cavidad. Ayuda a enfocar los iones en órbitas más compactas produciendo picos de masas más agudos. Se usa Helio porque no ioniza tan rápidamente como las moléculas de analito. Aunque los iones de helio son las especies más dominantes en la trampa, no son almacenados y son bombeados fuera tan pronto como son formados. Los iones son analizados aplicando un voltaje de radiofrecuencia al electrodo en forma de anillo que rodea la cavidad. Tan pronto como el voltaje se incrementa, los iones son expulsados secuencialmente de la trampa iónica de acuerdo a su relación masa/carga.

El GC/MS/MS es calibrado mediante la introducción de un estándar de 100 ppbV con los compuestos especificados en la Tabla 2.1. La calibración de nuestro cromatógrafo se hace diariamente, cada día y tras pasar varias muestras de aire limpio (muestras con nitrógeno, argón o helio) pasamos nuestro estándar de 100 ppbV. Posteriormente y tras pasar de nuevo una muestra de aire limpio procedemos a introducir nuestras muestras en el GC/MS/MS. Tras cada muestra pasamos una muestra de aire limpio y así sucesivamente. Nuestras

muestras son cuantificadas con un método calibrado diariamente con el correspondiente patrón.

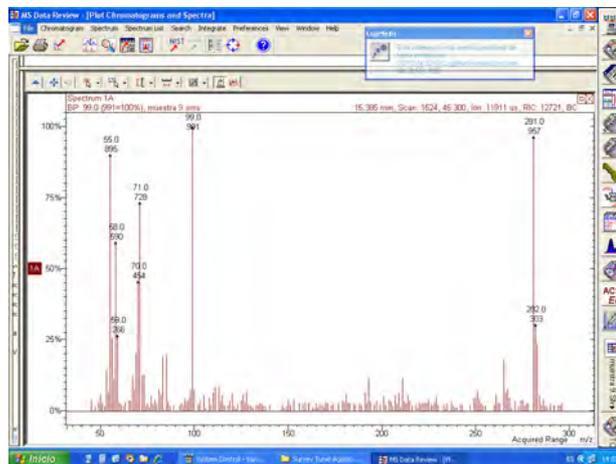


Figura 2.7- Espectro de masas del benceno presente en una muestra tomada en el aire-ambiente del Túnel de la Avda. Tres de Mayo

Como se ha mencionado anteriormente, el método de referencia utilizado para la determinación de los COVs no metanizados es el descrito en el protocolo TO-14 (EPA, 1988), este método es el utilizado para la determinación de compuestos orgánicos volátiles en el aire recogido en dispositivos especiales denominados canisters y analizado por cromatografía de gases MS/MS.

Para evaluar la reproducibilidad tanto de los tiempos de retención como de las áreas de los picos cromatográficos de los compuestos que se analizan, se compararon los resultados obtenidos de los análisis con en el GC/MS/MS de un estándar de 100 ppbV de los COVs no metanizados identificados en la Tabla 2.1. Para el análisis estadístico de las medidas realizadas con el GC/MS/MS se midieron los tiempos de retención y las áreas de los picos cromatográficos para dicho patrón durante un mismo día y durante cuatro días consecutivos de medida, para verificar de esta forma la estabilidad de los tiempos de retención y elaborar un estudio intra-día e inter-día. La desviación estándar, definida como la dispersión de los datos en torno al valor medio, viene expresada como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \text{siendo } n \text{ el número de medidas.}$$

Tabla 2.1. Iones de cuantificación, tiempos de retención, porcentajes de recuperación y límites de detección para cada analito en el método TO-14.

Analito	Tiempo de retención (Min)	Ión de cuantificación (uma)	Recuperación (%)	Límite de detección (ppbV)
Diclorotetrafluoroetano	4,181	85	104,2	0,01
Cloroetano	4,269	62	100,0	0,02
Bromometano	4,653	94+96	98,82	0,01
Tricloromonofluorometano	5,495	101	100,0	0,01
1,1-dicloroetano	6,028	61	100,0	0,02
Cloruro de metileno	6,112	49	93,32	0,01
1,1,2-tricloroetano	6,362	151	99,27	0,01
1,1-dicloroetano	7,107	63	100,0	0,01
1,2-dicloroetano	7,833	61	100,0	0,01
Cloroformo	8,095	83	100,0	0,01
1,2-dicloroetano	8,778	62	100,0	0,01
1,1,1-tricloroetano	9,040	97	100,0	0,01
Benceno	9,473	78	99,64	0,01
Tetracloruro de carbono	9,624	119	100,0	0,01
1,2-dicloropropano	10,255	76	100,0	0,01
Tricloroetileno	10,485	130	100,0	0,01
1,3-dicloro-1-propeno (cis)	11,343	75	100,0	0,01
1,3-dicloro-1-propeno (trans)	11,883	75	100,0	0,02
1,1,2-tricloroetano	12,082	97	97,13	0,01
Tolueno	12,412	91	100,0	0,01
1,2-dibromoetano	13,145	107+109	100,4	0,01
Tetracloroetileno	13,689	166	100,4	0,01
Clorobenceno	14,480	112	99,10	0,01
Etilbenceno	14,941	91	100,0	0,01
m-Xilenos+p-Xilenos	15,157	91	98,57	0,01
Estireno	15,609	104	99,35	0,02
1,1,2,2-tetracloroetano	15,715	83	100,3	0,01
o-Xilenos	15,754	91	100,0	0,02
1-etil-2-metilbenceno	17,461	105	100,0	0,02
1,3,5-trimetilbenceno	17,575	105	99,95	0,02
1,2,4-trimetilbenceno	18,194	105	100,0	0,03
1,3-diclorobenceno	18,414	146	100,0	0,01
1,4-diclorobenceno	18,414	146	97,17	0,01
1,2-diclorobenceno	19,066	146	100,0	0,01
1,2,4-triclorobenceno	22,151	182	99,96	0,03
1,1,2,3,4,4-Hexacloro-1,3-butadieno	23,085	225	100,0	0,03

La reproducibilidad en la repuesta instrumental está indicada por la desviación estándar relativa, cuyo porcentaje, el coeficiente de variación, se

define como: $C.V. = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 = RSD \cdot 100$

El límite de confianza de las medidas se define como: $\mu = \bar{x} \pm \frac{t \cdot S}{\sqrt{n}}$

siendo \bar{x} la media de la señal, S la desviación estándar, x_i el valor de la señal en el instante i, n el número de medidas y t de Student que es una función del nivel de probabilidad y de los grados de libertad (n-1). Para un 95% de probabilidad, y siendo 10 el número de grados de libertad, el valor crítico de t es 2,23. (Tabla 2.2).

En la Tabla 2.3 se presentan los resultados de los análisis intradía para los resultados de los tiempos de retención y en la Tabla 2.4 los resultados de los análisis intradía para las áreas de los picos cromatográficos.

En el análisis de los tiempos de retención, se observa que el 1,1,2,3,4,4, hexacloro 1,3 butadieno es la especie más reproducible con un coeficiente de variación de 0,06 % en el análisis intra-día, es decir, con una reproducibilidad del 99,94%. La gran mayoría de las especies analizadas presentan coeficientes de variación inferiores a 0,57%, con un 99,43% de reproducibilidad. El 1,2-dicloroetano es la especie menos reproducible con un coeficiente de variación del 8,47%, un 91,53% de reproducibilidad de los tiempos de retención.

Los resultados para los tiempos de retención de los análisis inter-día se muestran en la Tabla 2.5, mientras que los resultados para las áreas se incluyen en la Tabla 2.6. Puede observarse que el coeficiente de variación para cada uno de los compuestos analizados varía dependiendo del compuesto. La reproducibilidad de los datos obtenidos en el análisis estadístico de los tiempos de retención (Tabla 2.5) es muy alta y la mayor parte de los valores están dentro de un coeficiente de variación inferior al 1,95%, indicando una reproducibilidad de las medidas del 98,05%. El coeficiente de variación más bajo se observó para el 1-etil-2-metilbenceno con un 0,35%, indicando una reproducibilidad de los

tiempos de retención en el análisis inter-día de un 99,65%. Los coeficientes de variación más altos se observaron para el 1,3-dicloro-1-propeno, el cloroetano, y el diclorotetrafluoroetano, con una reproducibilidad entre el 94 y el 96%. El estudio de los tiempos de retención de cada una de las especies que se determinan por cromatografía de gases es muy importante, ya que a partir de ellos se puede establecer la identidad de los picos mediante una ventana predeterminada con el cromatograma de estándares.

Tabla 2.2. Valores de t de Student (Samuels, 1989).

Valores de t de Student (diferentes niveles de probabilidad y grados de libertad)			
Grados de libertad (n-1)	Niveles de probabilidad		
	99	95	90
1	63,66	12,71	6,31
2	9,933	4,3	2,92
3	5,84	3,18	2,35
4	4,6	2,78	2,13
5	4,03	2,57	2,02
6	3,71	2,45	1,94
7	3,5	2,37	1,9
8	3,36	2,31	1,86
9	3,25	2,26	1,83
10	3,17	2,23	1,81

En general, las especies analizadas presentan una buena estabilidad en los tiempos de retención, aunque dependiendo de las concentraciones de las muestras hay que modificar ciertos parámetros asociados en el método de integración como el ancho de banda o el ruido en la línea base. El estudio de las

áreas de picos de los COVs analizados refleja como en su mayoría presentan coeficientes de variación inferiores al 4,88% y una reproducibilidad del 95,12%.

Tabla 2.3. Estadística de los tiempos de retención (minutos) de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS. Análisis intra-día (se realizaron cuatro análisis consecutivos de nuestro patrón el día 23-07-03). Representamos la media, la desviación estándar (S.D) y el coeficiente de variación (C.V).

Nombre del compuesto	(1)	(2)	(3)	(4)	Media	S.D	C.V
Diclorotetrafluoro-etano			4,12	4,14	4,16	0,03	0,61
Cloroetano	4,53		4,45		4,49	0,06	1,24
Bromometano	4,83	4,81	4,82	4,80	4,81	0,01	0,28
Tricloromonofluoro- metano	5,16	5,12	5,15	5,12	5,13	0,02	0,29
1,1-dicloroetano	5,43	5,41	5,42	5,40	5,41	0,01	0,24
Cloruro de metileno	5,56	5,55	5,56	5,54	5,55	0,01	0,23
1,1,2-tricloroetano	5,53	5,51	5,52	5,49	5,50	0,02	0,28
1,1-dicloroetano	6,12	6,10	6,11	6,09	6,10	0,01	0,24
1,2-dicloroetano	6,58	6,55	6,57	5,54	6,05	0,51	8,47
Cloroformo	6,75	6,72	6,73	6,71	6,72	0,01	0,21
1,2-dicloroetano	7,33	7,31	7,31	7,29	7,30	0,02	0,21
1,1,1-tricloroetano	7,31	7,29	7,29	7,27	7,28	0,01	0,20
Benceno	7,63	7,60	7,61	7,59	7,60	0,02	0,21
Tetracloruro de carbono	7,31	7,28	7,30	7,27	7,28	0,02	0,24
1,2-dicloropropano	8,29	8,37	8,37	8,35	8,36	0,04	0,47
Tricloroetileno	8,42	8,40	8,41	8,38	8,40	0,02	0,19
1,3-dicloro-1-propeno	9,95	9,93	9,93	9,31	9,62	0,31	3,24
1,3-dicloro-1-propeno	9,35	9,33	9,34	9,31	9,33	0,01	0,16
1,1,2-tricloroetano	10,12	10,09	10,10	10,08	10,09	0,01	0,15
Tolueno	10,07	10,05	10,05	10,03	10,04	0,02	0,16
1,2-dibromoetano	11,03	11,01	11,02	11,00	11,01	0,01	0,13
Tetracloroetileno	11,16	11,13	11,14	11,12	11,13	0,01	0,13
Clorobenceno	12,06	12,04	12,04	12,02	12,03	0,01	0,12
Etilbenceno	12,42	12,40	12,40	12,39	12,40	0,01	0,12
m-Xilenos+p-Xilenos	12,62	12,59	12,60	12,59	12,59	0,01	0,11
Estireno	13,13	13,11	13,11	13,10	13,11	0,01	0,11
1,1,2,2-tetracloroetano	13,58	13,56	13,56	13,54	13,55	0,01	0,10
o-Xilenos	13,20	13,18	13,19	13,17	13,18	0,01	0,10
1-etil-2-metilbenceno		15,35		15,40	15,40	0,03	0,23
1,3,5-trimetilbenceno	15,53	15,51	15,51	14,91	15,21	0,30	2,00
1,2,4-trimetilbenceno	14,94	14,92	14,93	14,91	14,92	0,01	0,09
1,3-diclorobenceno	15,84	15,82	15,82	15,81	15,82	0,01	0,09
1,4-diclorobenceno	15,84	15,96	15,82	15,81	15,82	0,07	0,43
1,2-diclorobenceno	15,98	15,82	15,96	15,81	15,89	0,09	0,57
1,2,4-triclorobenceno	19,47	19,44	19,45	19,44	19,44	0,01	0,07
1,1,2,3,4,4-Hexacloro 1,3-butadieno	20,19	20,17	20,18	20,16	20,17	0,01	0,06

Tabla 2.4. Estadística de las áreas de los picos cromatográficos de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS. Análisis intra-día. (se realizaron cuatro análisis consecutivos de nuestro patrón el día 23-07-03). Representamos la media, la desviación estándar (S.D) y el coeficiente de variación (C.V).

Nombre del compuesto	(1)	(2)	(3)	(3)	Media	S.D	C.V
Diclorotetrafluoroetano			1289	1021	1155	190	16,4
Cloroetano	10296		10935		10616	452	4,3
Bromometano	69442	66874	69762	67813	68473	1365	1,9
Tricloromonofluorometano	68346	63121	67514	66524	66376	2294	3,5
1,1-dicloroetano	44637	43121	44892	43829	44120	805	1,8
Cloruro de metileno	42096	44238	46808	40695	43459	2666	6,1
1,1,2-tricloroetano	78012	72843	76674	75469	75750	2199	2,9
1,1-dicloroetano	64526	61718	64310	63729	63571	1280	2,0
1,2-dicloroetano	42095	38746	39873	39414	40032	1451	3,6
Cloroformo	59182	56002	57016	65681	59470	4348	7,3
1,2-dicloroetano	62266	57855	63866	61115	61276	2544	4,2
1,1,1-tricloroetano	104372	99778	103412	94770	100583	4351	4,3
Benceno	78457	73454	75977	74721	75652	2135	2,8
Tetracloruro de carbono	6154	6469	6892	7190	6676	457	6,8
1,2-dicloropropano	33114	30802	33012	31610	32135	1123	3,5
Tricloroetileno	36709	34356	34832	33796	34923	1264	3,6
1,3-dicloro-1-propeno	62726	61417	65603	76143	66472	6680	10,1
1,3-dicloro-1-propeno	81764	75344	80679	76143	78483	3210	4,1
1,1,2-tricloroetano	54325	53848	51122	52169	52866	1486	2,8
Tolueno	90118	87589	92647	83813	88542	3769	4,3
1,2-dibromoetano	176086	172819	172662	163368	171234	5476	3,2
Tetracloroetileno	33161	37002	36418	36389	35743	1744	4,9
Clorobenceno	82192	81194	77341	74428	78789	3581	4,6
Etilbenceno	89287	56570	87526	86972	80089	15710	19,6
m-Xilenos+p-Xilenos	161403	150521	160356	140289	153142	9872	6,5
Estireno	54016	60620	58305	48114	55264	5496	9,9
1,1,2,2-tetracloroetano	90274	100502	95432	73970	90045	11501	12,8
o-Xilenos	75838	77310	74171	72043	74841	2263	3,0
1-etil-2-metilbenceno		37497		38233	37865	520	1,4
1,3,5-trimetilbenceno	82414	92889	88820	74519	84661	8019	9,5
1,2,4-trimetilbenceno	85689	97147	92494	74519	87462	9828	11,2
1,3-diclorobenceno	58988	68142	63003	53166	60825	6333	10,4
1,4-diclorobenceno	57019	76180	59411	51927	61134	10505	17,2
1,2-diclorobenceno	63951	66605	67824	51927	62577	7282	11,6
1,2,4-triclorobenceno	20915	25140	21783	17706	21386	3056	14,3
1,1,2,3,4,4-Hexacloro 1,3-butadieno	60937	73720	64936	54106	63425	8193	12,9

Tabla 2.5. Estadística de los tiempos de retención de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS (en minutos). Análisis inter-día. (se realizaron cuatro análisis durante días consecutivos). Representamos la media (X), la desviación estándar (S.D) y el coeficiente de variación (C.V).

Nombre del compuesto	<u>01-09-03</u>	<u>04-09-03</u>	<u>05-09-03</u>	<u>10-09-03</u>	X	S.D	C.V
Diclorotetrafluoroetano	4,45	4,30	4,60	4,66	4,50	161,6	3,59
Cloroetano		4,34	4,62	4,69	4,55	188,0	4,13
Bromometano	4,66	4,51	4,81	4,88	4,71	163,0	3,46
Tricloromonofluoro-metano	4,98	4,82	5,13	5,20	5,03	169,0	3,36
1,1-dicloroetano	5,26	5,10	5,41	5,49	5,31	170,1	3,20
Cloruro de metileno	5,39	5,23	5,54	5,61	5,44	170,8	3,14
1,1,2-tricloroetano	5,35	5,19	5,50	5,57	5,40	172,1	3,19
1,1-dicloroetano	5,94	5,78	6,09	6,17	5,99	174,9	2,92
1,2-dicloroetano	6,39	6,23	6,54	6,62	6,45	171,9	2,67
Cloroformo	6,56	6,41	6,72	6,79	6,62	172,3	2,60
1,2-dicloroetano	7,14	7,00	7,29	7,37	7,14	148,1	2,07
1,1,1-tricloroetano	7,11	6,98	7,28	7,36	7,18	171,3	2,39
Benceno	7,43	7,30	7,59	7,67	7,50	167,0	2,23
Tetracloruro de carbono	7,12	7,33	7,28	7,36	7,25	120,5	1,66
1,2-dicloropropano	8,20	8,08	8,35	8,44	8,27	160,6	1,94
Tricloroetileno	8,23	8,11	8,39	8,47	8,30	159,9	1,93
1,3-dicloro-1-propeno	9,76	9,68	9,32	9,40	9,52	214,3	2,25
1,3-dicloro-1-propeno	9,76	9,06	9,92	9,99	9,68	425,2	4,39
1,1,2-tricloroetano	9,92	9,84	10,08	10,16	10,00	145,9	1,46
Tolueno	9,87	9,79	10,03	10,11	9,95	146,3	1,47
1,2-dibromoetano	10,84	10,77	10,99	11,08	10,92	142,6	1,31
Tetracloroetileno	10,96	10,89	11,12	11,20	11,04	140,8	1,28
Clorobenceno	11,86	11,80	12,02	12,10	11,95	138,4	1,16
Etilbenceno	12,23	12,17	12,39	12,47	12,32	135,3	1,10
m-Xilenos+p-Xilenos	12,43	12,37	12,58	12,66	12,51	134,8	1,08
Estireno	12,94	12,89	13,10	13,18	13,03	133,7	1,03
1,1,2,2-tetracloroetano	13,39	13,34	13,54	13,62	13,47	131,5	0,98
o-Xilenos	13,01	12,96	13,17	13,25	13,10	133,4	1,02
1-etil-2-metilbenceno			14,91	14,98	14,95	52,3	0,35
1,3,5-trimetilbenceno		15,31	14,98	15,57	15,29	298,2	1,95
1,2,4-trimetilbenceno	15,35	15,31	15,50	15,57	15,43	124,5	0,81
1,3-diclorobenceno	15,65	15,63	15,81	15,88	15,74	125,7	0,80
1,4-diclorobenceno	15,65	16,29	15,81	16,02	15,94	275,6	1,73
1,2-diclorobenceno	16,35	16,29	15,81	15,88	16,07	264,7	1,65
1,2,4-triclorobenceno	19,28	19,28	19,44	19,51	19,38	115,9	0,60
1,1,2,3,4,4-Hexacloro 1,3-butadieno	20,01	20,01	20,16	20,24	20,11	113,0	0,56

Se observa también que el 1-etil-2-metilbenceno es la especie con menor coeficiente de reproducibilidad, un 1,37%, y un 98,63% de reproducibilidad.

Tabla 2.6. Estadística de las áreas de pico de los COVs no metanizados analizados por GC/MS/MS, Análisis inter-día. (se realizaron cuatro análisis durante días consecutivos). Representamos la media (X), la desviación estándar (S.D) y el coeficiente de variación (C.V).

Nombre del compuesto	01-09-03	04-09-03	05-09-03	10-09-03	X	S.D	C.V
Diclorotetrafluoroetano	57842	48345	63623	63850	58415	7266	12,4
Cloroetano		16430	18177	18732	17780	1201	6,8
Bromometano	57663	52110	61370	56428	56893	3818	6,7
Tricloromonofluorometano	50372	47708	58818	52480	52345	4737	9,1
1,1-dicloroetano	34342	31514	38639	38303	35700	3405	9,5
Cloruro de metileno	33867	30533	39842	40695	36234	4866	13,4
1,1,2-tricloroetano	58473	58241	66332	61629	61169	3773	6,2
1,1-dicloroetano	50919	48672	59325	53413	53082	4590	8,6
1,2-dicloroetano	29365	27436	34042	32205	30762	2936	9,5
Cloroformo	42136	41302	48114	46263	44454	3265	7,3
1,2-dicloroetano	46714	49787	59711		52071	6793	13,1
1,1,1-tricloroetano	78007	73244	85241	82097	79647	5196	6,5
Benceno	53954	53567	59528	55952	55750	2727	4,9
Tetracloruro de carbono	4136		6164	5132	13218	16168	19,7
1,2-dicloropropano	26272	24875	26845	25990	25996	827	3,2
Tricloroetileno	27072	25833	27580	27151	26909	751	2,8
1,3-dicloro-1-propeno	44455	43820	63402	58630	52577	9941	18,9
1,3-dicloro-1-propeno	44455	56052	48859	47384	49188	4929	10,0
1,1,2-tricloroetano	35514	33644	42497	37210	37216	3810	10,2
Tolueno	63806	65709	72478	62802	66199	4356	6,6
1,2-dibromoetano	117396	119303	127847	140697	126311	10613	8,4
Tetracloroetileno	28911	30487	33371	31209	30995	1852	5,9
Clorobenceno	59649	66497	65254	64808	64052	3021	4,7
Etilbenceno	75000	80177	77256	74962	76849	2464	3,2
m+p-Xilenos	97722	108428	105381	108954	105121	5178	4,9
Estireno	37095	38533	39594	40407	38907	1431	3,7
1,1,2,2-tetracloroetano	49786	53134	68281	65358	59140	9052	15,3
o-Xilenos	53277	60215	57760	50434	55422	4394	7,9
1-etil-2-metilbenceno			53410	41376	47393	8509	17,9
1,3,5-trimetilbenceno		67117	74050	68341	61417	17106	5,3
1,2,4-trimetilbenceno	53984	67117	69538	68341	64745	7242	11,2
1,3-diclorobenceno	40368	44666	46027	39769	42708	3107	7,3
1,4-diclorobenceno	40368	45307	46027	46544	44562	2841	6,4
1,2-diclorobenceno	40973	45307	46027	39769	43019	3111	7,2
1,2,4-triclorobenceno	15379	17543	16504	17938	16841	1147	6,8
1,1,2,3,4,4-Hexacloro 1,3-butadieno	38570	38732	44577	44367	41562	3362	8,1

Es el etilbenceno la especie con un mayor coeficiente de variación, un 19,62%, es decir, la especie con una menor reproducibilidad del área de pico cromatográfico, un 80,38% de reproducibilidad. El análisis estadístico de los coeficientes de variación de las áreas de picos cromatográficos de los compuestos analizados indica que estos en general presentan coeficientes inferiores a 9, con una reproducibilidad del 91%. Otros compuestos como el 1,3-dicloro-1-propeno, el 1-etil, 2-metilbenceno y el 1,1,2,2-tetracloroetano presentaron coeficientes de variación superiores a 10. El análisis comparativo de los tiempos de retención para los análisis intra-día e interdía demuestra como la dispersión de los tiempos de retención para los análisis inter-día es mayor que en el análisis intradía. En ambos análisis se observa como las especies con menor coeficiente de variación y en consecuencia las más reproducibles son el hexacloro-1,3-butadieno y el 1,2,4-triclorobenceno. Para el análisis comparativo de las áreas de los picos cromatográficos se observa como las muestras más reproducibles para el análisis intra-día eran el 1-etil-2-metilbenceno, el 1,1-tricloroetano y el bromometano mientras que para el análisis inter-día las muestras más reproducibles son tricloroetileno, el 1,2-dicloropropano y el etilbenceno.

2.3 Resultados y Discusión

2.3.1. Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife

Las investigaciones realizadas sobre las variaciones espaciales y temporales de COVs en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo en S/C de Tenerife, nos han permitido estimar la emisión de COVs no metanizados generada por el tráfico rodado por carretera en S/C de Tenerife (Nolasco et al., 2003a, 2005a, 2006a). Del análisis de COVs no metanizados en las muestras recogidas en el interior del Túnel de la Avda, Tres de Mayo, se observa la existencia de un gradiente de concentración creciente a lo largo del túnel, es decir, la concentración aumenta según avanzamos hacia la salida del túnel. Esto sugiere una contribución significativa de COVs no metanizados a la atmósfera como consecuencia del tráfico de vehículos por carretera.

Entre todos los COVs no metanizados identificados y cuantificados, prestaremos una especial atención al benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos), Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales. En las tablas 2.7 y 2.8 puede observarse claramente como existe un gradiente de concentración a lo largo del túnel (desde la entrada principal hacia la salida) para todas las especies estudiadas. En las siguientes tablas se muestran los valores de concentración mínimos, máximos, promedios (X) y desviación estándar (SD) obtenidos en los ensayos realizados en el túnel de la Avda Tres de Mayo. El máximo de concentración detectada para la mayor parte de las especies estudiadas corresponde a los últimos metros del túnel, entre los 900 y 1000 metros.

En las Figuras 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 y 2.16 se muestra la distribución espacial de la concentración de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda Tres de Mayo en los diferentes ensayos realizados. Los valores de concentración de dichas especies sugieren una contribución significativa de las mismas a la atmósfera como consecuencia del tráfico rodado (Nolasco et al., 2003a, 2005a, 2006a). Solamente en el caso de los hidrocarburos halogenados, cuya distribución es caótica, parece no existir un aumento en la concentración de los mismos a lo largo del interior del túnel de la Avda Tres de Mayo.

Tabla 2.7. Concentraciones y estadística descriptiva de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y BTEX expresadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife a las 14:00 horas de los días 7 de agosto de 2003, 17 de marzo, 21 de abril de 2004, 24 de junio de 2004 y 8 de octubre de 2004.

Prof.(m)	Benceno					Tolueno					Etilbenceno					Xilenos					BTEX																														
	7-8-03	17-3-04	21-4-04	24-6-04	8-10-04	7-8-03	17-3-04	21-4-04	24-6-04	8-10-04	7-8-03	17-3-04	21-4-04	24-6-04	8-10-04	7-8-03	17-3-04	21-4-04	24-6-04	8-10-04	7-8-03	17-3-04	21-4-04	24-6-04	8-10-04	7-8-03	17-3-04	21-4-04	24-6-04	8-10-04																					
-50	6,61	0,00	0,00	0,00	8,22	31,72	10,1	15,14	11,64	27,00	5,34	0,00	8,32	5,76	12,6	17,92	0,00	7,98	4,08	8,67	61,65	10,71	31,41	21,48	56,55	0	9,95	5,47	0,00	49,76	19,73	119,65	15,7	0,00	7,98	10,66	5,82	5,46	0,00	29,99	15,28	4,9	3,97	0,00	97,71	51,17	130,37	25,15	0,00		
50	9,54	2,42	2,36	0,00	4,22	45,46	21,86	11,81	13,2	23,5	23,46	12,08	9,82	5,75	11,61	27,05	17,28	15,24	4,16	7,98	105,51	53,45	39,34	23,11	47,32	100	14,5	6,27	1,36	8,05	8,24	28,08	19,03	9,45	13,26	0,00	9,42	0,00	35,8	22,05	0,00	6,92	0,00	128,27	65,61	9,6	52,37	23,55			
150	19,31	3,11	2,62	7,72	7,13	84,1	22,17	10,75	33,55	19,73	13,28	10,92	6,92	9,67	0,00	46,98	15,86	5,86	6,93	0,00	163,68	51,88	26,17	57,67	26,86	200	31,12	8,09	10,34	7,59	6,28	143,7	56,1	49,82	25,96	20,86	21,88	7,52	9,94	12,72	11,2	71,18	19,91	38,63	25,97	7,1	267,89	91,61	108,72	72,15	46,02
250	26,93	15,3	6,72	9,4	5,42	106,92	69,13	26,56	35,43	15,69	16,48	8,27	19,38	6,66	0,00	59,98	24,88	25,62	21,28	0,00	210,32	117,58	78,28	72,79	21,1	300	30,93	6,78	12,12	9,16	17,56	120,1	30,02	266,7	35,56	61,87	17,47	12,72	12,86	5,84	14,11	62,68	18,3	49,56	21,46	35,65	231,17	67,72	341,25	72,02	149,22
350	29,37	13,52	7,9	15,78	9,29	97,7	49,48	50,66	63,39	26,96	15,94	8,28	9,55	9,74	10,95	28,47	24,44	38,66	31,16	8,73	172,3	120,74	108,77	120,08	55,92	400	27,05	11,23	9,74	49,03	4,1	106,15	44,45	49,77	171,34	27,46	14,85	6,53	8,56	28,5	10,64	29,46	21,02	40,53	118,93	8,48	177,55	83,23	108,59	367,79	50,69
450	51,45	6,94	14,27	17,89	6,84	189,6	34,17	74,3	78,18	25,81	30,83	5,11	13,27	14,97	12,61	60,79	14,48	60,00	50,68	10,04	332,67	60,71	162,04	161,72	55,3	500	30,95	14,34	15,37	21,11	8,36	109,1	68,64	70,45	89,89	34,58	17,35	11,55	12,65	15,46	13,34	36,16	47,75	51,35	54,67	8,48	183,67	142,25	150,14	181,15	64,75
550	36,16	8,11	16,63	26,92	1,00	141,94	39,67	70,56	138,76	23,74	22,23	6,34	13,17	23,84	0,00	40,75	19,96	48,13	72,22	0,00	241,06	73,69	149,5	261,79	24,74	600	44,25	13,53	21,97	25,33	3,46	183,03	78,81	102,44	155,05	18,43	37,25	10,84	17,57	30,22	9,28	61,48	33,05	69,95	78,36	7,35	336,13	136,25	211,95	268,95	38,59
650	34,78	7,75	24,16	27,35	8,4	160,18	31,54	115,4	173,45	25,98	23,14	15,02	22,87	28,08	10,82	41,73	16,09	74,95	82,00	6,87	259,84	70,42	237,37	310,94	52,04	700	33,21	11,29	18,56	33,96	11,01	162,92	47,35	86,56	162,05	39,55	22,62	18,84	13,45	28,57	20,06	46,05	30,22	47,81	104,07	23,62	264,84	107,73	168,42	328,65	94,25
750	44,63	12,94	24,35	40,38	11,91	170,42	348,95	98,63	187,65	44,37	22,14	11,69	17,46	27,61	18,56	65,38	54,46	61,74	103,64	11,8	322,61	428,04	202,22	359,29	86,64	800	50,74	10,28	26,57	41,45	6,54	219,27	61,55	102,95	176,00	32,02	37,65	10,6	16,55	36,01	13,77	63,13	50,14	62,14	109,03	8,76	370,95	132,61	208,25	362,45	61,05
850	48,84	14,51	26,44	44,39	24,81	186,67	59,24	117,95	190,93	123,06	27,02	10,6	18,74	36,12	16,3	94,16	26,2	72,95	87,24	59,57	356,69	110,54	236,06	357,86	223,73	900	59,45	10,67	19,84	41,83	33,81	323,75	39,35	88,73	165,36	97,27	39,65	16,62	16,75	28,35	50,71	78,48	20,23	61,37	113,53	63,22	501,33	86,92	168,74	349,11	245,01
950	30,72	10,38	25,52	53,34	37,66	139,7	45,34	100,96	281,00	117,86	20,27	7,46	16,65	43,23	19,46	73,01	23,1	66,96	135,45	74,35	263,7	86,3	212,12	513,06	249,39	1000	53,04	9,75	22,66	57,59	31,95	209,2	42,7	365,55	197,54	124,7	26,24	16,17	17,02	32,00	17,73	99,52	25,94	60,25	138,34	75,94	367,96	94,61	485,54	425,45	250,22
Max	59,45	15,3	26,57	57,59	37,66	323,75	348,95	365,55	281,00	124,7	39,63	18,84	22,87	43,23	50,71	99,52	54,46	74,95	138,34	75,94	501,33	428,04	485,54	513,06	250,22	Min	5,61	0,00	0,00	0,00	0,00	31,72	10,1	8,24	11,64	0,00	5,34	0,00	0,00	5,48	0,00	17,92	0,00	0,00	3,97	0,00	61,65	10,71	9,66	21,48	0,00
X	32,89	9,22	14,07	24,47	11,46	139,10	56,95	91,06	110,45	44,07	21,46	10,51	13,17	20,14	12,44	54,15	24,54	43,89	62,45	19,42	247,63	100,95	162,22	217,51	87,41	SD	14,94	4,17	9,25	19,35	10,76	67,81	67,70	82,94	79,44	37,93	9,22	10,81	23,01	12,57	23,95	46,87	25,08	108,38	79,62	105,95	154,70	60,54			

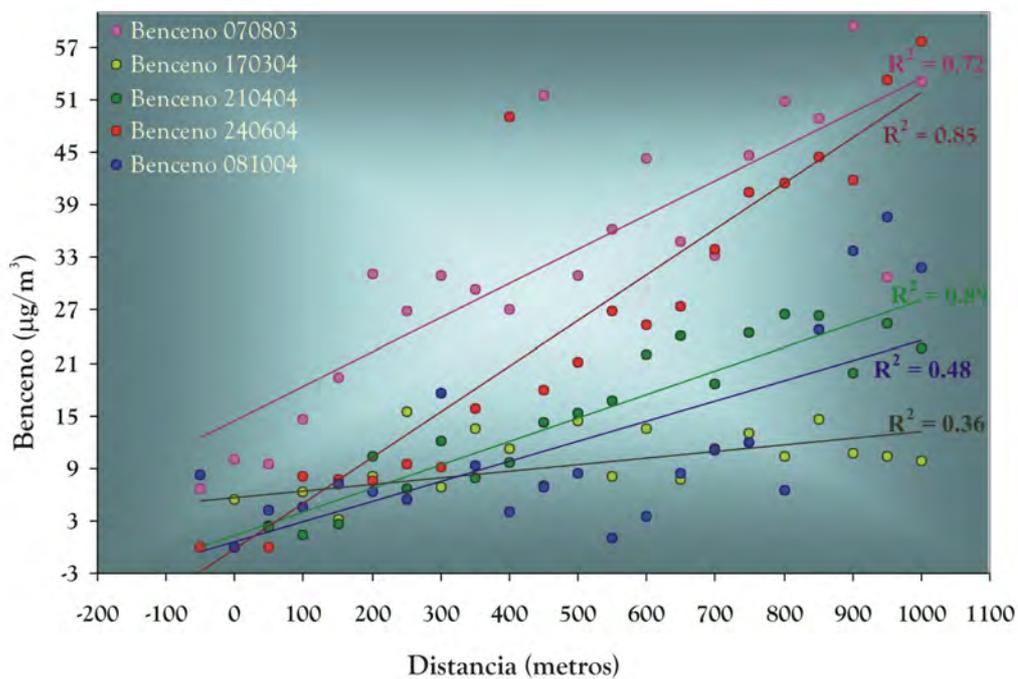


Figura 2.8.- Distribución espacial de la concentración de benceno en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

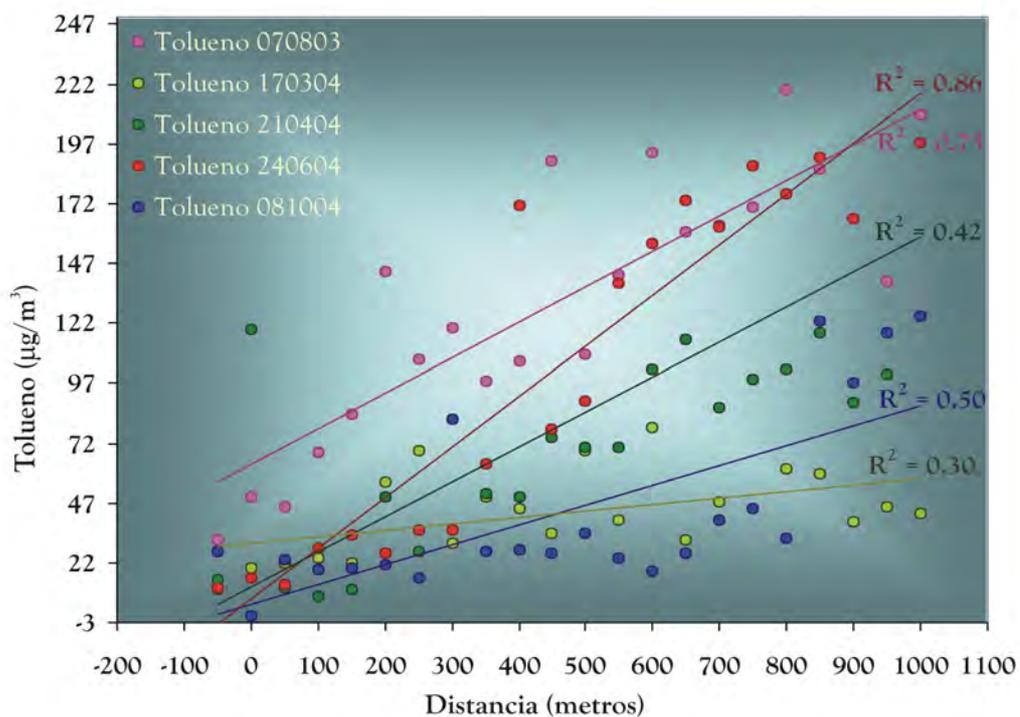


Figura 2.9.- Distribución espacial de la concentración de tolueno en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

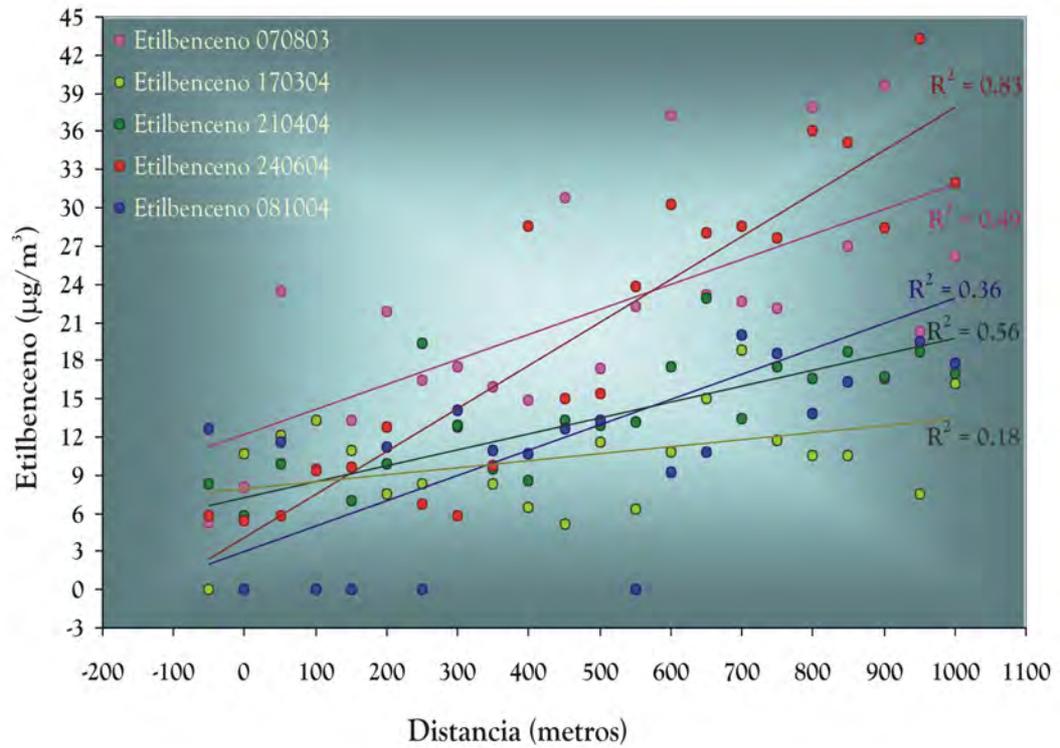


Figura 2.10.- Distribución espacial de la concentración de etilbenceno en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

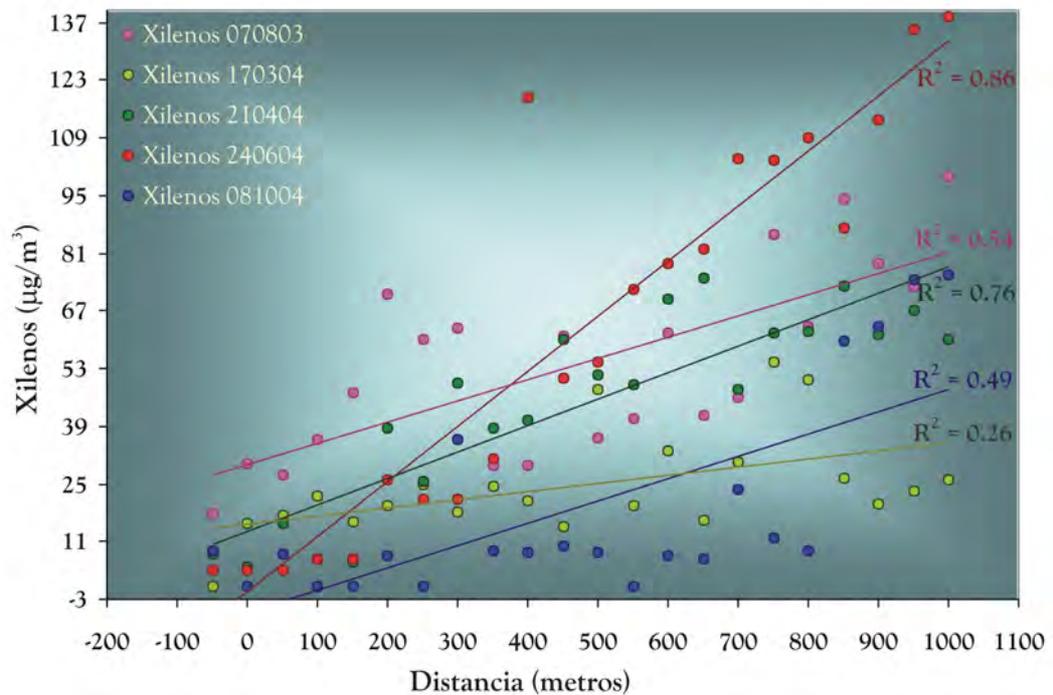


Figura 2.11.- Distribución espacial de la de concentración de xilenos en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

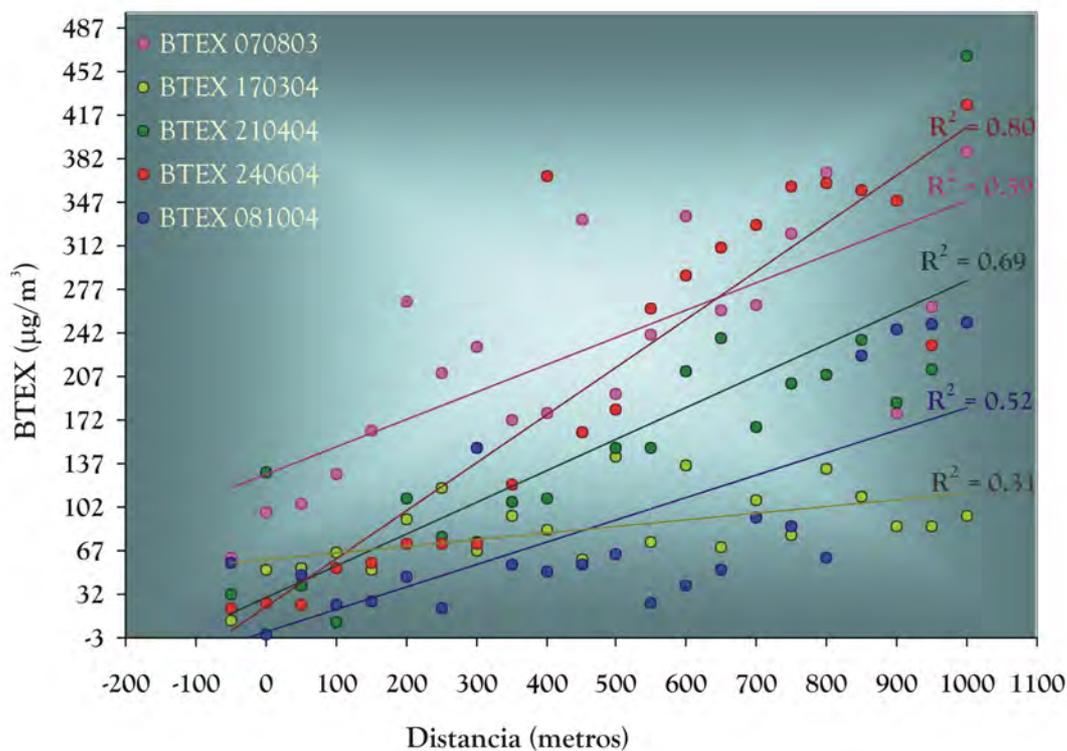


Figura 2.12.- Distribución espacial de la concentración de BTEX en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

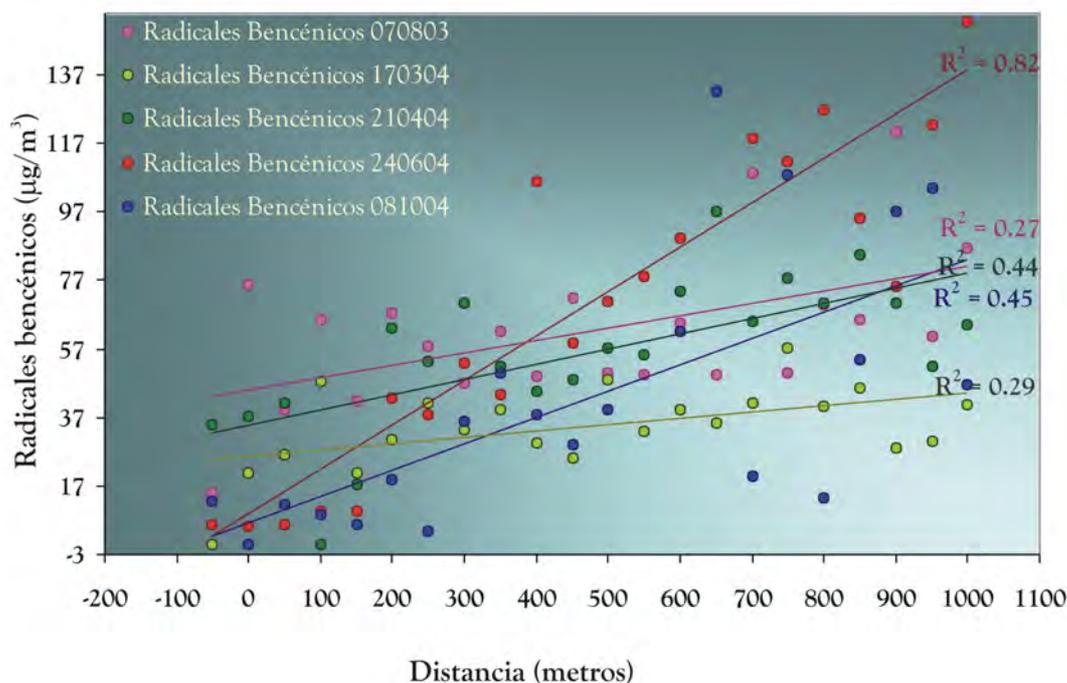


Figura 2.13.- Distribución espacial de la concentración de Radicales bencénicos en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

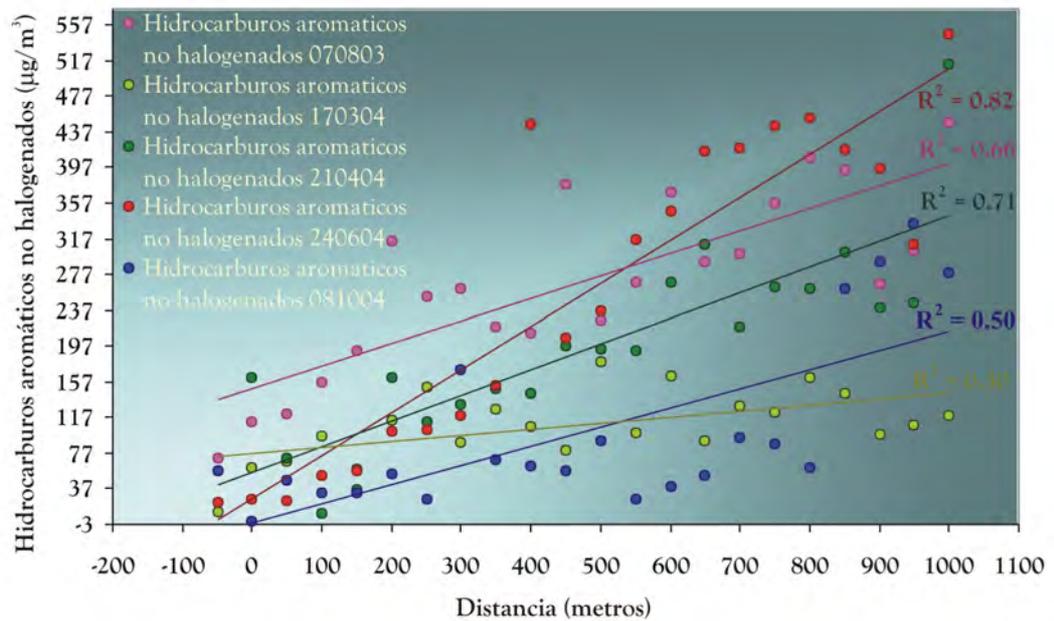


Figura 2.14.- Distribución espacial de la concentración de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

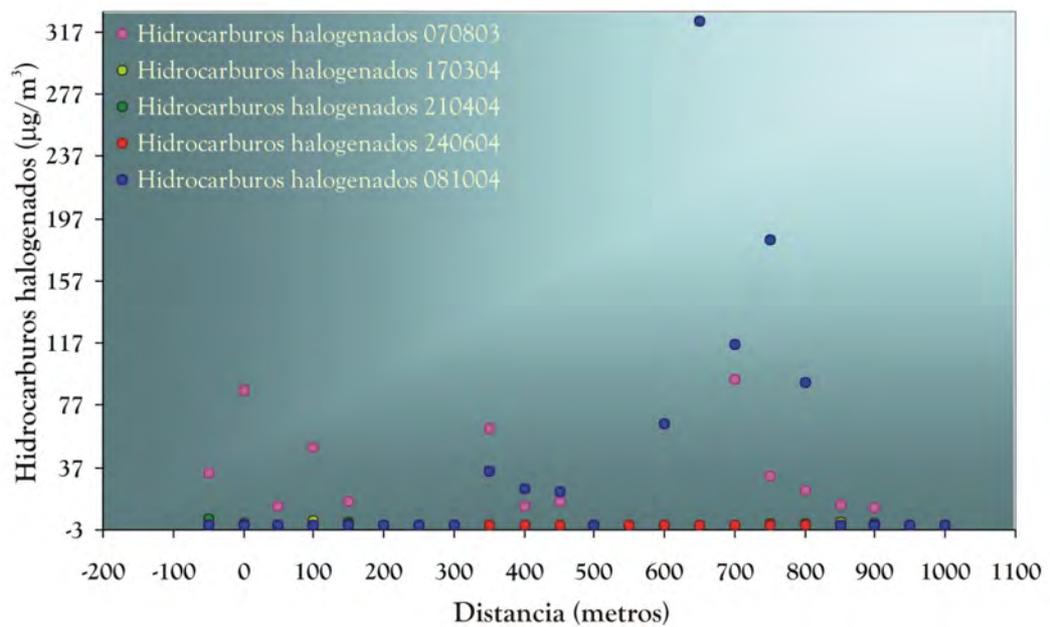


Figura 2.15.- Distribución espacial de la concentración de Hidrocarburos halogenados en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

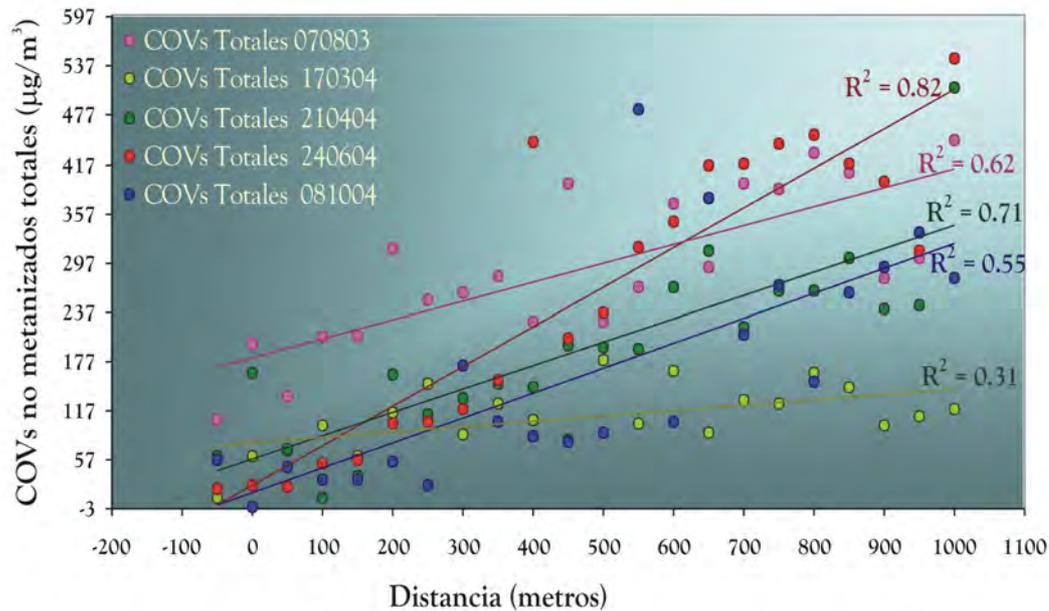


Figura 2.16.- Distribución espacial de la concentración de COVs no metanizados totales en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife a las 14:00 horas.

Las variaciones temporales observadas en la concentración medida de COVs no metanizados en el aire ambiente en el interior del Túnel de la Avda. Tres de Mayo durante la segunda fase de este estudio, reflejan que las emisiones de estos compuestos contaminantes se encuentran estrechamente relacionadas con variaciones en la densidad del tráfico a lo largo del tiempo (Nolasco et al., 2003a, 2005a, 2006a). En la Figura 2.17 se pueden distinguir tres picos bien definidos de concentración de benceno que caracterizan las horas punta del día 17/09/03 en las cuales la densidad del tráfico es mayor. Estas horas se corresponden con las primeras horas de la mañana, primera hora de la tarde y últimas horas de la tarde.

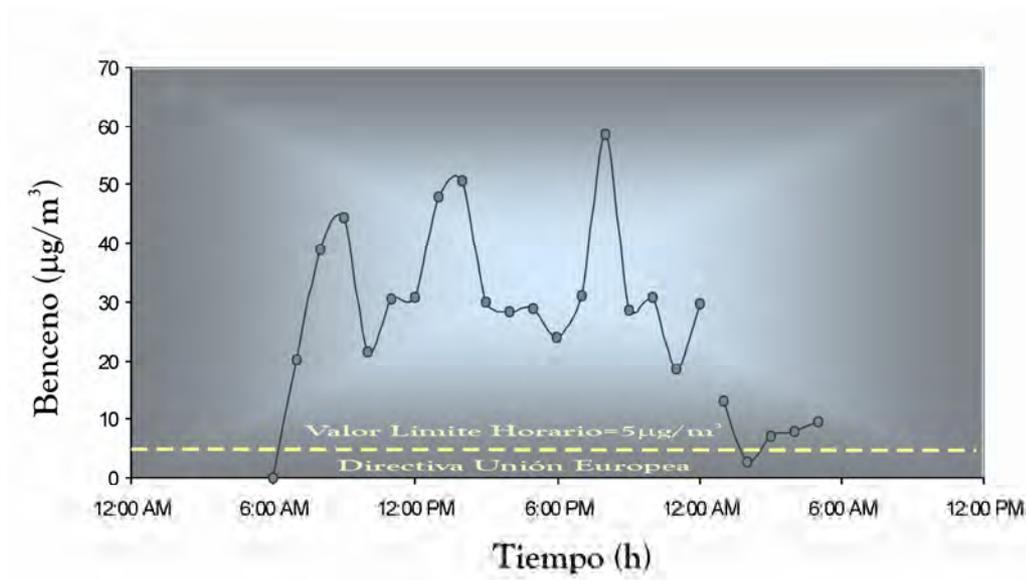


Figura 2.17.- Variaciones temporales de la concentración de benceno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas (desde la 06:00 AM del 17/09/03 hasta las 05:00 AM del 18/09/03).

En las tablas 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 se presenta la evolución temporal de las especies estudiadas cada día de observación pudiéndose observar máximos de caudal de cada especie en función de la densidad de tráfico registrada cada día de estudio.

Tabla 2.9. Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 17-08-03 hasta las 05:00 horas del 18-08-03.

Hora de muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	mt-xileno	o-xileno	BTEX	Radicales Bencénicos	Hidrocarburos Halogenados	Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados	COVs totales
17-8-03 6:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,42	0,00	77,42
17-8-03 7:00	20,21	1704,45	42,60	26,99	0,00	1794,25	62,29	30,68	1813,95	1844,62
17-8-03 8:00	39,07	194,10	15,73	34,81	24,12	307,84	29,27	23,40	321,38	344,78
17-8-03 9:00	44,47	1465,88	24,96	50,65	5,71	1591,66	54,57	0,00	1626,86	1626,86
17-8-03 10:00	21,41	457,78	10,94	22,35	12,09	524,59	22,15	0,00	535,80	535,80
17-8-03 11:00	30,40	320,32	17,72	32,46	4,74	405,65	33,36	0,00	421,30	421,30
17-8-03 12:00	30,72	189,44	10,02	23,87	15,13	269,18	41,12	68,50	269,22	337,72
17-8-03 13:00	47,86	1914,84	27,75	62,20	0,00	2052,66	27,75	37,39	2058,77	2096,16
17-8-03 14:00	50,53	535,49	23,77	46,40	27,92	684,10	23,77	23,98	684,10	708,08
17-8-03 15:00	29,90	121,10	15,89	27,18	17,55	211,60	24,74	17,95	220,45	238,40
17-8-03 16:00	28,41	1738,86	13,82	29,08	0,00	1810,17	13,82	0,00	1810,17	1810,17
17-8-03 17:00	28,94	798,62	10,95	24,37	13,79	876,68	10,95	0,00	876,68	876,68
17-8-03 18:00	24,10	73,72	9,73	19,48	11,76	138,79	14,80	0,00	143,86	143,86
17-8-03 19:00	30,92	139,71	18,03	42,21	23,19	254,07	18,21	0,00	254,24	254,24
17-8-03 20:00	58,44	1161,66	23,29	52,40	0,00	1295,79	37,70	21,58	1318,40	1339,98
17-8-03 21:00	28,69	1436,30	16,74	29,87	0,00	1511,61	51,95	14,42	1546,81	1561,24
17-8-03 22:00	30,75	331,30	15,24	30,17	29,08	436,54	24,29	14,37	445,59	459,95
17-8-03 23:00	18,56	52,16	7,34	15,86	12,18	106,10	12,70	0,00	111,47	111,47
18-8-03 0:00	29,77	160,44	10,09	24,33	17,72	242,34	40,63	66,64	242,38	309,02
18-8-03 1:00	13,05	1800,13	21,61	14,51	0,00	1849,29	46,34	85,50	1874,03	1959,52
18-8-03 2:00	2,72	12,56	4,43	2,99	0,00	22,70	4,43	36,52	22,70	59,22
18-8-03 3:00	7,06	13,92	4,67	3,14	0,00	28,79	4,67	18,35	28,79	47,14
18-8-03 4:00	7,84	407,06	10,74	7,20	5,52	438,36	15,37	0,00	442,99	442,99
18-8-03 5:00	9,61	167,06	24,60	16,52	0,00	172,80	54,37	18,27	1751,57	1769,84
Maximo	58,44	1914,84	42,60	62,20	29,08	2052,66	62,29	85,50	2058,77	2096,16
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,14
Promedio	26,39	695,87	15,86	26,63	9,19	773,94	27,89	23,12	784,23	807,35
Desc. Estándar	15,09	698,51	9,18	16,04	9,95	711,46	17,52	26,60	718,72	719,86

Tabla 2.10. Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 11-02-04 hasta las 05:00 horas del 12-02-04.

Hora de muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m+p-xileno	o-xileno	BTEX	Radicales Bencénicos	Hidrocarburos Halogenados	Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados	COVs totales
11-2-04 6:00	11,61	38,86	5,64	11,18	7,29	74,57	22,73	0,00	91,66	91,66
11-2-04 7:00	19,21	73,27	11,15	18,55	11,88	134,07	35,19	0,00	158,10	158,10
11-2-04 8:00	40,98	147,62	24,97	41,36	28,05	282,97	67,22	0,00	325,23	325,23
11-2-04 9:00	34,07	148,90	26,18	42,96	25,13	277,24	66,07	0,00	317,13	317,13
11-2-04 10:00	25,76	153,55	25,85	45,61	7,70	258,47	78,12	0,00	310,74	310,74
11-2-04 11:00	25,95	122,71	29,36	38,16	23,43	239,60	91,35	0,00	301,59	301,59
11-2-04 12:00	28,98	85,98	15,39	29,63	17,78	177,76	47,91	0,00	210,29	210,29
11-2-04 13:00	37,62	250,85	46,24	122,47	76,35	533,53	162,09	0,00	649,38	649,38
11-2-04 14:00	38,27	156,98	24,05	54,99	29,86	304,15	83,32	0,75	362,67	363,42
11-2-04 15:00	35,27	151,38	25,65	51,40	32,25	295,96	71,66	0,00	341,96	341,96
11-2-04 16:00	24,70	98,40	15,96	33,65	16,91	189,62	39,40	0,00	213,06	213,06
11-2-04 17:00	48,62	206,23	26,88	60,28	34,10	376,11	83,03	0,75	431,50	432,26
11-2-04 18:00	32,24	99,82	14,82	35,89	21,13	203,91	48,98	0,00	238,07	238,07
11-2-04 19:00	40,39	132,01	18,81	40,27	25,53	257,01	70,22	0,00	308,43	308,43
11-2-04 20:00	41,24	140,50	20,30	44,45	23,63	270,12	66,17	0,82	315,16	315,99
11-2-04 21:00	49,02	157,57	24,60	48,23	35,84	315,26	87,36	0,00	378,01	378,01
11-2-04 22:00	38,45	161,57	23,32	51,40	32,62	307,36	70,84	0,00	354,88	354,88
11-2-04 23:00	40,54	159,44	19,51	43,19	29,34	292,02	72,88	1,83	343,57	345,40
12-2-04 0:00	29,96	84,78	10,55	22,78	13,44	161,51	30,78	0,00	181,73	181,73
12-2-04 1:00	26,40	112,87	15,17	30,99	24,73	210,16	56,85	0,00	251,84	251,84
12-2-04 2:00	21,89	83,83	13,05	17,41	15,74	151,92	38,70	0,00	177,57	177,57
12-2-04 3:00	22,98	69,96	12,65	18,81	11,98	136,37	30,49	0,00	154,21	154,21
12-2-04 4:00	4,49	24,91	11,61	7,58	0,00	48,58	11,61	0,00	48,58	48,58
12-2-04 5:00	23,01	83,35	13,44	33,67	18,85	172,31	48,85	0,00	207,72	207,72
Maximo	49,02	250,85	46,24	122,47	76,35	533,53	162,09	1,83	649,38	649,38
Minimo	4,49	24,91	5,64	7,58	0,00	48,58	11,61	0,00	48,58	48,58
Promedio	30,90	122,72	19,80	39,37	23,48	236,27	61,74	0,17	278,05	278,22
Desv. Estándar	10,93	51,51	8,54	22,57	14,62	102,65	30,56	0,44	123,90	124,02

Tabla 2.1.1. Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 27-04-04 hasta las 05:00 horas del 28-04-04.

Hora de muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m-xileno	o-xileno	BTEX	Radicales Bencénicos	Hidrocarburos Halogenados	Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados	COVs totales
27-4-04 6:00	2,64	29,13	14,05	10,03	7,00	62,85	107,42	13,38	149,02	162,40
27-4-04 7:00	19,43	61,63	8,59	17,73	16,39	123,77	97,21	2,50	209,88	212,39
27-4-04 8:00	18,89	85,21	10,62	24,59	16,82	156,13	121,15	7,00	262,03	269,03
27-4-04 9:00	10,54	43,46	7,12	12,03	10,99	84,14	96,24	8,43	168,67	177,10
27-4-04 10:00	11,89	52,04	8,28	20,35	16,14	108,70	110,57	8,13	207,26	215,38
27-4-04 11:00	11,20	92,73	9,16	17,78	15,54	146,41	134,77	2,42	269,59	272,01
27-4-04 12:00	14,99	256,03	11,07	24,81	17,08	323,98	173,11	3,15	482,87	486,03
27-4-04 13:00	18,15	95,17	13,27	32,03	19,51	178,12	159,65	0,94	323,50	324,50
27-4-04 14:00	13,37	89,99	9,68	23,11	19,26	155,41	153,01	3,56	296,59	300,14
27-4-04 15:00	21,72	73,56	11,89	27,78	20,27	155,22	134,13	2,36	276,67	279,03
27-4-04 16:00	15,09	51,07	8,69	18,82	14,72	108,39	96,45	0,00	196,15	196,15
27-4-04 17:00	15,70	54,19	9,67	20,81	12,72	113,08	132,75	17,68	227,39	245,07
27-4-04 18:00	15,29	62,63	10,60	27,37	17,01	132,91	59,91	13,15	169,07	182,21
27-4-04 19:00	28,74	103,57	16,17	35,98	20,31	204,77	57,18	0,00	245,78	245,78
27-4-04 20:00	22,71	82,28	13,14	34,75	17,97	170,85	53,11	15,26	201,65	216,90
27-4-04 21:00	22,58	93,16	13,60	34,75	17,43	181,53	50,70	6,54	214,56	221,10
27-4-04 22:00	19,42	65,29	10,43	28,80	15,07	139,00	61,11	7,73	185,12	192,85
27-4-04 23:00	15,94	72,55	12,09	34,34	18,29	153,20	61,38	7,13	198,17	205,30
28-4-04 0:00	12,97	52,75	8,46	18,45	12,32	104,95	40,83	3,77	135,56	139,34
28-4-04 1:00	8,50	22,44	10,60	8,54	5,46	55,54	17,08	0,00	62,02	62,02
28-4-04 2:00	0,70	6,89	5,61	3,86	0,00	17,06	12,73	0,00	24,18	24,18
28-4-04 3:00	1,04	7,84	4,79	3,30	0,00	16,96	4,79	0,00	16,96	16,96
28-4-04 4:00	1,30	12,21	14,21	9,78	7,74	45,23	48,40	0,00	79,43	79,43
28-4-04 5:00	11,23	41,85	7,66	17,92	16,50	95,17	35,51	0,00	123,02	123,02
Máximo	28,74	256,03	16,17	35,98	20,31	323,98	173,11	17,68	482,87	486,03
Mínimo	0,70	6,89	4,79	3,30	0,00	16,96	4,79	0,00	16,96	16,96
Promedio	13,92	66,99	10,39	21,15	13,94	126,39	84,13	5,13	196,89	202,01
Desv. Estándar	7,33	49,34	2,82	9,81	5,88	66,06	48,78	5,36	101,08	101,86

Tabla 2.12. Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 01-07-04 hasta las 05:00 horas del 02-07-04.

Hora de muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m+p-xileno	o-xileno	BTEX	Radicales Bencénicos	Hidrocarburos Halogenados	Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados	COVs totales
1-7-04 6:00	6,72	30,59	15,49	10,40	6,35	69,55	30,75	0,00	84,81	84,81
1-7-04 7:00	26,18	72,39	10,95	26,55	17,37	153,45	38,90	0,00	181,40	181,40
1-7-04 8:00	32,86	111,54	15,50	28,45	22,28	210,64	51,45	0,00	246,59	246,59
1-7-04 9:00	24,32	115,65	17,34	33,00	22,42	212,73	53,53	0,00	248,92	248,92
1-7-04 10:00	28,20	116,67	22,81	41,37	22,45	231,49	55,45	0,00	264,14	264,14
1-7-04 11:00	24,56	72,81	15,41	29,13	22,56	164,46	52,08	0,00	201,14	201,14
1-7-04 12:00	35,80	100,30	17,34	31,94	20,27	205,65	51,17	0,00	239,48	239,48
1-7-04 13:00	55,36	134,71	22,06	43,08	20,60	275,81	49,18	0,00	302,93	302,93
1-7-04 14:00	45,19	115,90	16,02	31,20	21,07	229,39	55,10	0,00	268,46	268,46
1-7-04 15:00	53,99	140,72	20,35	40,27	25,65	280,98	64,16	0,00	324,80	324,80
1-7-04 16:00	25,74	76,30	9,99	19,19	12,31	143,54	35,36	0,00	168,92	168,92
1-7-04 17:00	19,88	80,10	7,80	15,49	10,41	133,68	28,56	0,00	154,44	154,44
1-7-04 18:00	31,67	120,82	16,05	30,25	23,22	222,01	53,36	0,00	259,32	259,32
1-7-04 19:00	41,92	184,16	26,97	54,44	29,18	336,66	77,04	0,00	386,73	386,73
1-7-04 20:00	38,03	162,81	21,57	42,78	25,19	290,38	62,59	0,00	331,40	331,40
1-7-04 21:00	41,24	154,88	29,33	57,56	25,70	308,72	79,31	0,00	358,69	358,69
1-7-04 22:00	36,33	82,39	15,56	30,07	17,75	182,10	48,99	0,00	215,53	215,53
1-7-04 23:00	14,26	51,77	10,23	22,56	12,28	111,09	37,09	0,00	137,95	137,95
2-7-04 0:00	17,74	58,86	8,72	23,74	12,85	121,90	34,40	0,00	147,58	147,58
2-7-04 1:00	13,37	41,98	7,46	18,55	6,75	88,11	29,50	0,00	110,16	110,16
2-7-04 2:00	14,59	61,97	13,06	22,04	13,82	125,47	43,54	0,00	155,96	155,96
2-7-04 3:00	13,32	24,70	7,02	5,02	0,00	50,06	7,02	0,00	50,06	50,06
2-7-04 4:00	53,47	115,20	13,08	19,74	15,07	216,55	27,18	0,00	230,66	230,66
2-7-04 5:00	16,47	98,15	16,55	22,57	10,36	164,10	37,74	0,00	185,28	185,28
Maximo	55,36	184,16	29,33	57,56	29,18	336,66	79,31	0,00	386,74	386,74
Minimo	6,72	24,70	7,02	5,03	0,00	50,06	7,02	0,00	50,06	50,06
Promedio	29,63	96,89	15,69	29,14	17,33	188,69	45,98	0,00	218,97	218,97
Desvc. Estándar	14,04	41,88	5,97	12,72	7,32	76,62	16,43	0,00	86,08	86,08

Tabla 2.13. Concentraciones y estadística descriptiva de BTEX, Radicales Bencénicos, Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados, Hidrocarburos Halogenados y COVs totales expresados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1 atm y 20 °C, observados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tenerife registrados durante las 24 horas consecutivas que duró el ensayo. Desde las 06:00 horas del 21-10-04 hasta las 05:00 horas del 22-10-04.

Hora de muestreo	Benceno	Tolueno	Etilbenceno	m-p-xileno	o-xileno	BTEX	Radicales Bencénicos	Hidrocarburos Halogenados	Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados	COVs totales
21-10-04 6:00	13,26	69,01	11,35	27,35	0,00	120,98	33,50	4,32	140,67	144,99
21-10-04 7:00	16,79	88,55	30,26	23,13	12,50	171,23	62,96	3,59	202,03	205,62
21-10-04 8:00	18,25	115,98	15,28	33,85	18,85	202,21	48,86	3,21	234,00	237,20
21-10-04 9:00	28,20	104,49	13,06	37,90	16,96	200,61	48,69	3,82	234,34	238,16
21-10-04 10:00	18,16	64,22	10,54	24,62	12,15	129,69	21,51	1,80	138,86	140,66
21-10-04 11:00	24,97	103,36	18,05	37,50	21,63	205,51	54,25	4,66	239,30	243,96
21-10-04 12:00	23,67	91,35	12,60	33,95	18,04	179,61	52,45	3,23	217,46	220,69
21-10-04 13:00	37,00	223,31	32,68	84,21	43,38	420,58	84,79	0,00	472,69	472,69
21-10-04 14:00	23,94	104,94	17,63	39,79	21,44	207,74	67,70	6,63	253,30	259,92
21-10-04 15:00	28,14	118,11	20,89	44,52	20,89	232,56	58,60	9,31	263,71	273,02
21-10-04 16:00	16,38	64,11	12,79	32,69	13,37	139,35	43,92	1,14	170,47	171,61
21-10-04 17:00	29,29	119,65	20,28	53,48	24,16	246,87	59,14	2,52	285,72	288,23
21-10-04 18:00	33,98	106,15	15,87	38,51	19,87	214,39	54,57	5,61	249,26	254,87
21-10-04 19:00	42,57	156,50	28,46	68,35	34,39	330,27	65,35	4,40	364,61	369,01
21-10-04 20:00	48,34	176,14	30,30	57,25	14,13	326,16	53,82	5,71	347,97	353,68
21-10-04 21:00	10,58	80,55	13,25	25,39	14,91	144,67	37,15	65,77	164,52	230,29
21-10-04 22:00	29,81	125,81	21,06	47,62	26,18	250,49	45,28	4,60	272,81	277,42
21-10-04 23:00	23,98	86,92	18,64	29,66	21,83	181,03	48,62	59,53	207,61	267,14
22-10-04 0:00	22,03	96,29	16,10	43,91	30,91	209,24	57,23	0,00	250,37	250,37
22-10-04 1:00	13,50	65,67	14,40	21,41	10,83	125,81	32,79	0,00	144,20	144,20
22-10-04 2:00	4,77	33,07	18,89	12,15	0,00	68,88	48,56	0,00	98,55	98,55
22-10-04 3:00	0,00	9,98	0,00	0,00	0,00	9,98	19,02	0,00	28,99	28,99
22-10-04 4:00	2,26	36,29	8,73	4,93	0,00	52,20	8,73	0,00	52,20	52,20
22-10-04 5:00	2,19	26,83	16,78	13,02	0,00	58,82	16,78	0,00	58,81	58,82
Maximo	48,34	223,31	32,68	84,21	43,38	420,58	84,79	65,77	472,69	472,69
Minimo	0,00	9,98	0,00	0,00	0,00	9,98	8,73	0,00	28,99	28,99
Promedio	21,33	94,47	17,41	34,80	16,52	184,54	46,84	7,91	212,19	220,10
Desvc. Estándar	12,54	47,85	7,48	19,23	11,36	93,74	17,86	17,07	102,65	103,74

En las Figuras 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25 y 2.26 se presenta la evolución temporal de la concentración de COVs no metanizados estudiados en el aire-ambiente del interior del túnel de la Avda Tres de Mayo en los ensayos realizados.

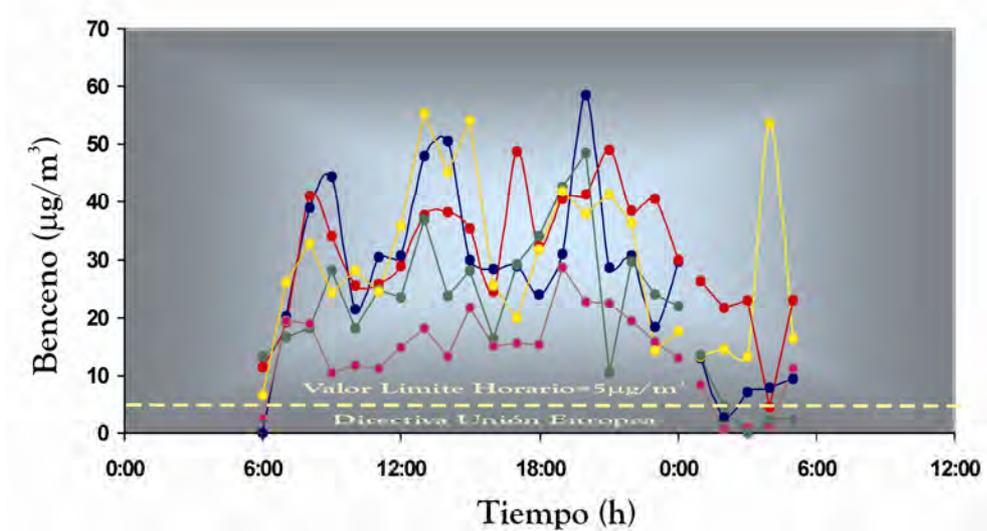


Figura 2.18.- Variaciones temporales de la concentración de benceno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

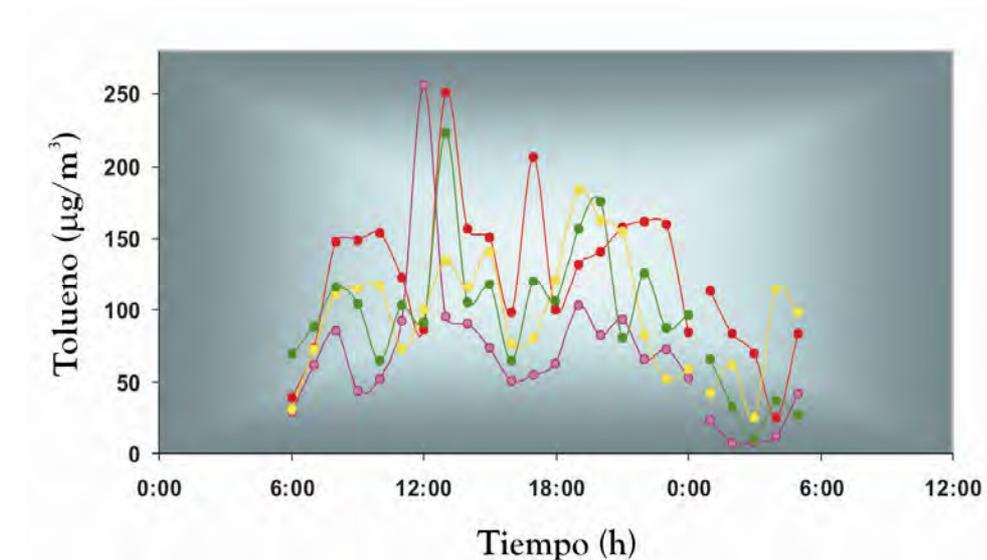


Figura 2.19.- Variaciones temporales de la concentración de tolueno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

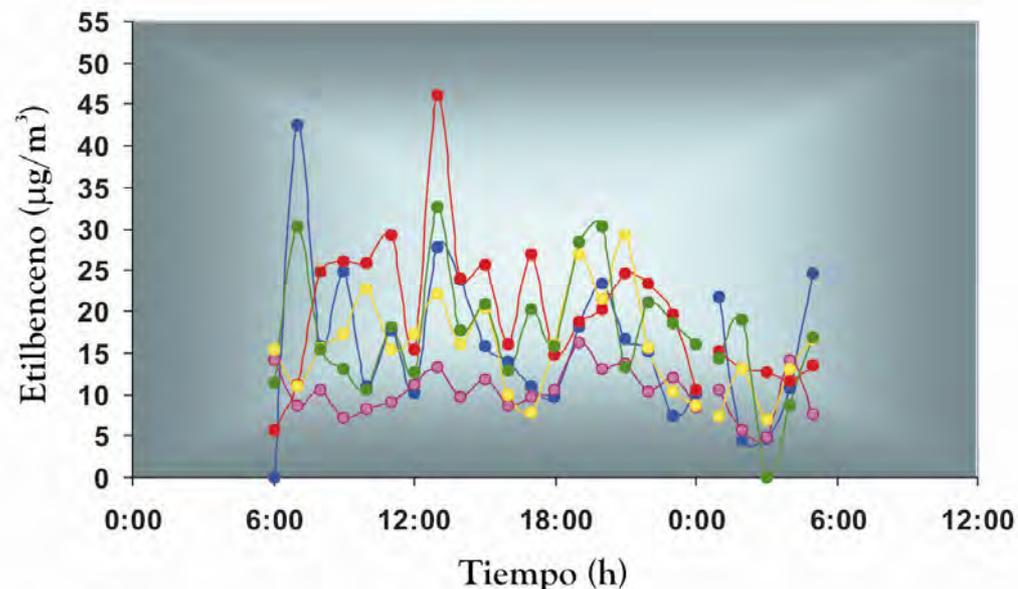


Figura 2.20.- Variaciones temporales de la concentración de etilbenceno en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

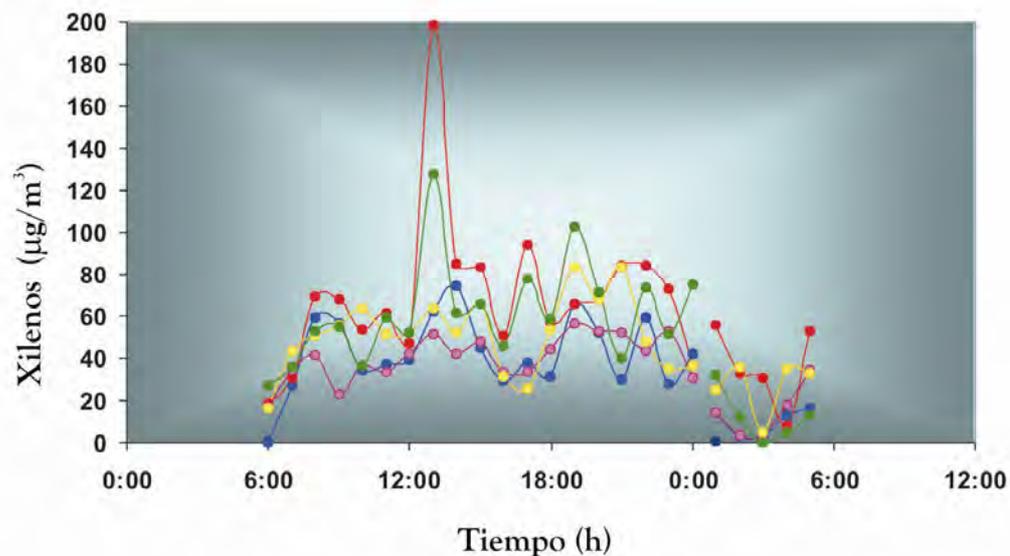


Figura 2.21.- Variaciones temporales de la concentración de xilenos en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

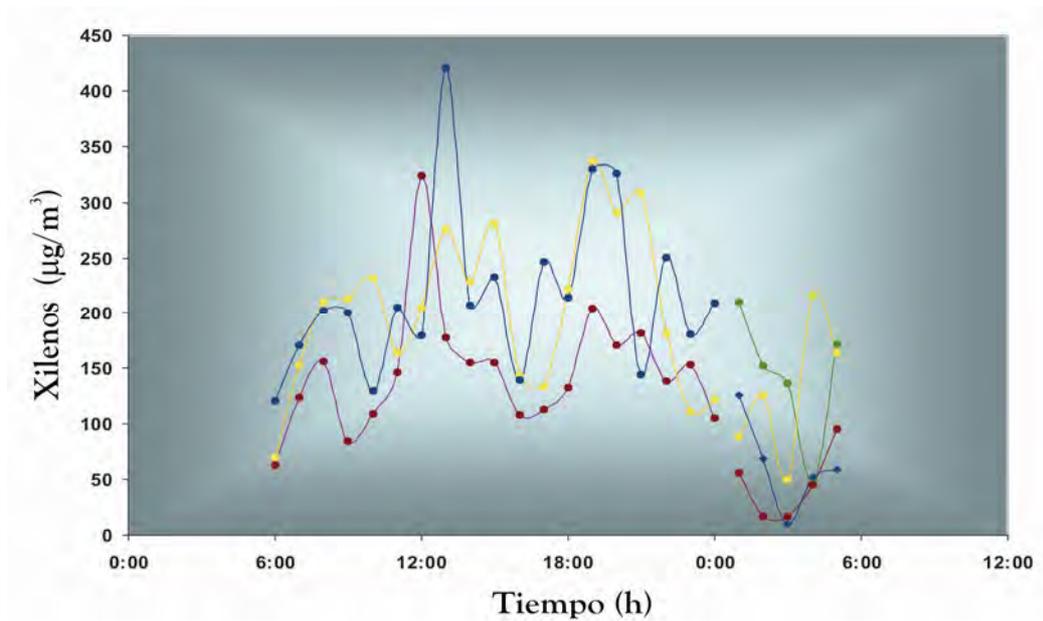


Figura 2.22.- Variaciones temporales de la concentración de BTEX en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

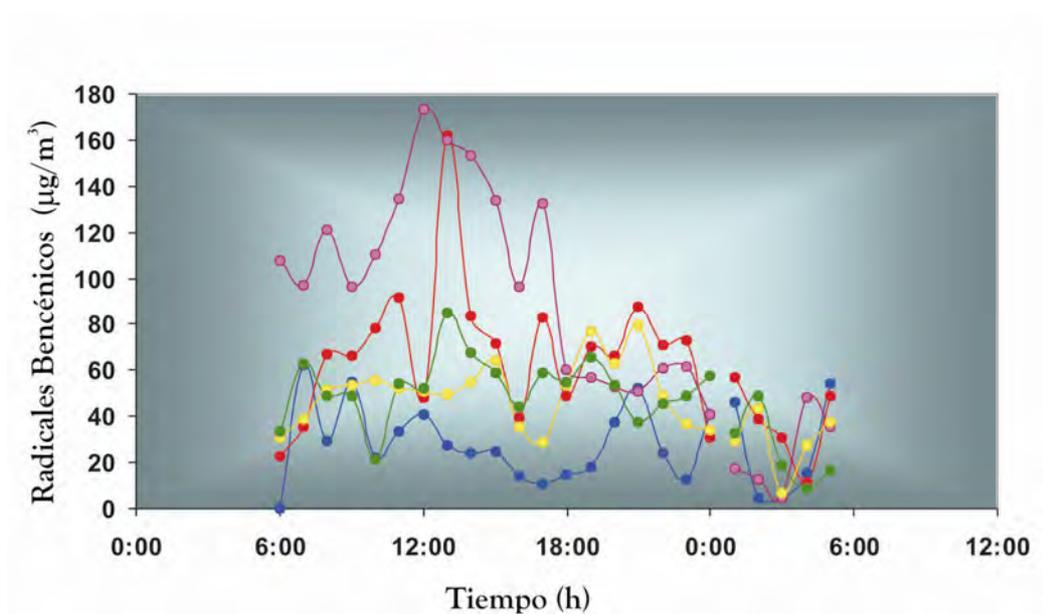


Figura 2.23.- Variaciones temporales de la concentración de radicales bencénicos en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

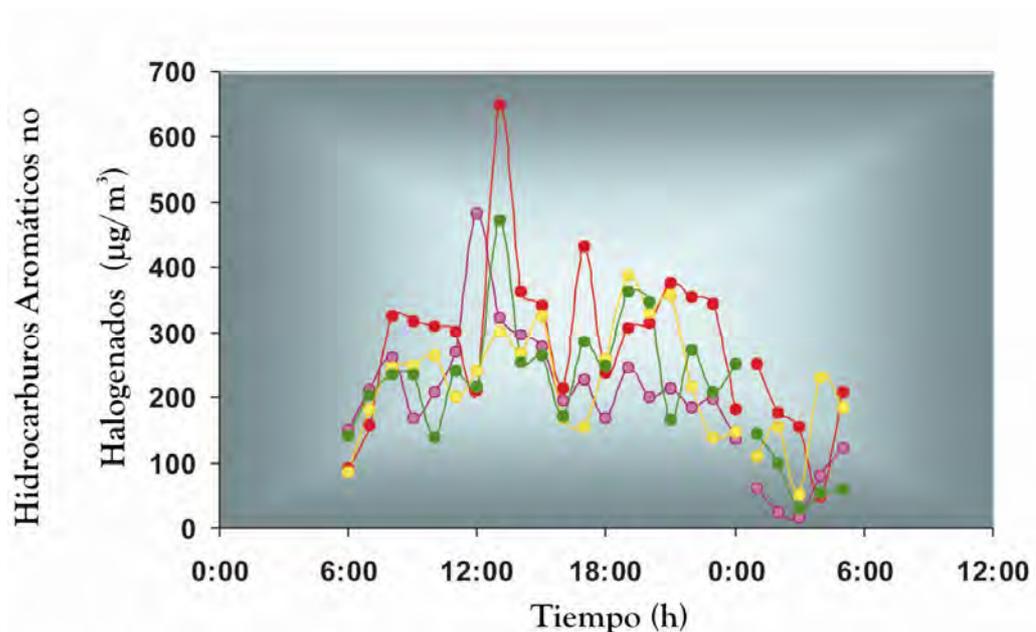


Figura 2.24.- Variaciones temporales de la concentración de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tfe, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

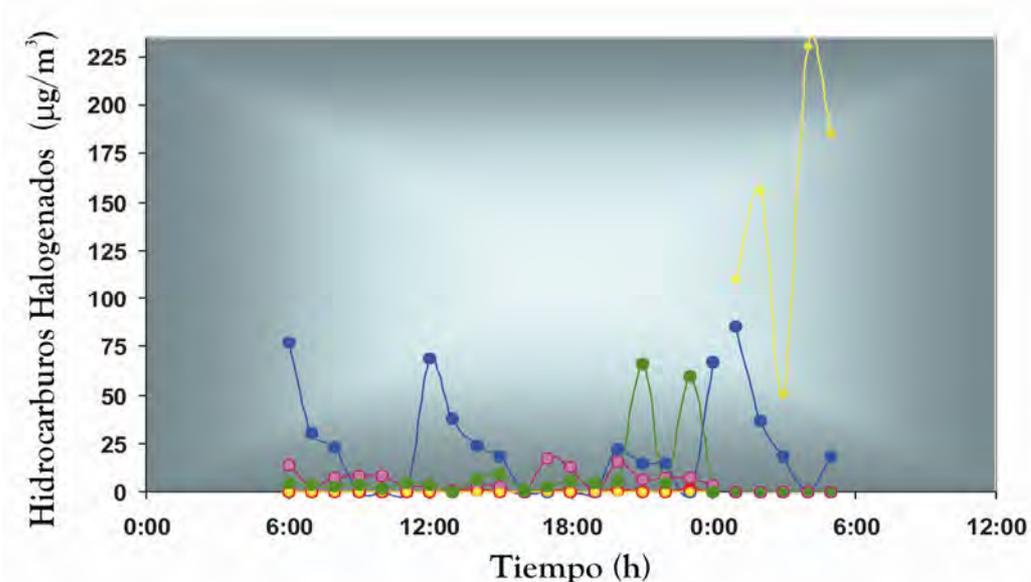


Figura 2.25.- Variaciones temporales de la concentración de Hidrocarburos halogenados en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, S/C de Tfe, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

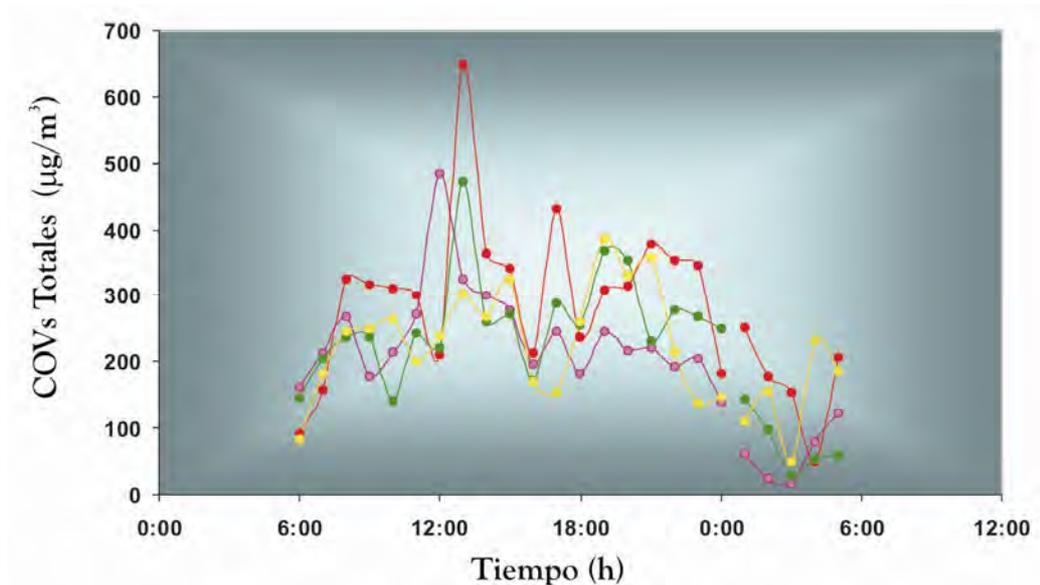


Figura 2.26.- Variaciones temporales de la concentración de COVs totales en el aire ambiente en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo, Santa Cruz de Tenerife, a 50 metros de la salida durante 24 horas consecutivas en los diferentes experimentos realizados [17 y 18 de septiembre de 2003 (azul), 11 y 12 de febrero de 2004 (rojo), 27 y 28 de abril de 2004 (rosado), 1 y 2 de julio de 2004 (amarillo) y 21 y 22 de octubre de 2004 (verde)].

Teniendo en cuenta los resultados de este estudio hemos estimado que la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos que entra y sale diariamente en S/C de Tenerife de aproximadamente $4 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para el benceno, $16 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para el tolueno, $3 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para el etilbenceno, $8 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para los xilenos y $31 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para los BTEX, $9 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para los Radicales bencénicos, $39 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para los Hidrocarburos aromáticos no halogenados, $1 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para los Hidrocarburos halogenados y $39 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido para los COVs. Para el cálculo de estas emisiones se ha tenido en cuenta el área y la longitud del túnel, la velocidad media del viento y la concentración de COVs en el interior del túnel, el tráfico que ha generado el gradiente de COVs y el tráfico que entra y sale diariamente de S/C de Tenerife (235500) vehículos (Nolasco et al., 2003a, 2005a, 2006a) (Cálculos Anexo I).

Con los ensayos realizados estacionalmente en el interior del túnel durante 24 horas consecutivas se calcula el caudal de cada COVs no metanizados en cada estación del año. El caudal de COVs para cada hora de estudio en $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ se estimó tras multiplicar la concentración de cada COVs no metanizados ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) determinada por el GC/MS/MS, por el área del túnel (87.036 m^2) y la velocidad media del viento durante la toma de muestras ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Al conocer el número de vehículos que genera dicho caudal, y el número de vehículos que entran y salen diariamente de Santa Cruz se estima el caudal de COVs no metanizados generado por el tráfico que entra y sale de la ciudad. Para cada estación del año se estiman los $\mu\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Km}$ que genera el tráfico que entra y sale de S/C de Tenerife, este valor es transformado en $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ recorrido, valores más estandarizados (Más ampliado en Anexo I). (Tabla 2.14).

Tabla 2.14. Emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales obtenidos en a través de los ensayos realizados en el túnel de la Avda. Tres de Mayo.

COV no metanizados	Tráfico que entra/sale de S/C ($\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$)	Trafico entre S/C-La Laguna, recorrido 9km ($\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$)
Benceno	4,3	17
Tolueno	16,1	65
Etilbenceno	2,6	11
Xilenos	8,2	33
BTEX	31,1	126
Radicales bencénicos	9,1	37
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	38,8	158
Hidrocarburos halogenados	1,4	6
COVs totales	39,5	160

Teniendo en cuenta que $4,3 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$ de benceno son generados por 235500 vehículos que es el tráfico que entra y sale diariamente de Santa Cruz y teniendo en cuenta que son 106168 vehículos los que circulan diariamente entre Santa Cruz y La Laguna, la cantidad de benceno emitida por estos 106168 vehículos es de $1,94 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{Km}$. Así mismo, teniendo en cuenta que la distancia entre ambas ciudades es de 9 Km, la emisión de benceno por parte de estos 106168 vehículos en este tramo de autopista es de $17 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. La emisión de tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs a la atmósfera por los 106168 vehículos en el trayecto Santa Cruz-La Laguna y viceversa es del orden de 65, 11, 33, 126, 37, 158, 6 y $160 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente.

Para calcular la emisión de COVs no metanizados en la isla de Tenerife, se ha utilizado la base de datos del Instituto Canario de Estadística (ISTAC) para el año 1998 y los datos proporcionados por el Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife (Anexo II) para el año 2006. Con esta información se conocen las intensidades medias diarias de vehículos (IMD) que circulan en las carreteras de Tenerife en los años especificados, las carreteras donde se han realizado los recuentos de vehículos y el número de vehículos pesados y ligeros que circula en cada tramo de carretera y sus kilómetros recorridos. Estos datos permiten conocer para los años de estudio 1998 y 2006 el número medio de vehículos y los kilómetros que han circulando en cada carretera de nuestra isla. En la Tabla 2.15 se presenta la emisión de COVs no metanizados en la isla de Tenerife en los años 1998 y 2006 en $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Estos datos se han obtenido al multiplicar la emisión promedio ($\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}$) de cada una de las especies de COVs no metanizados estudiados (Tabla 2.14) por el total de vehículos y kilómetros recorridos en cada carretera estudiada ($\text{vehículos}\cdot\text{Km}$) y dividido por el tráfico que entra y sale de Santa Cruz (235500 vehículos) (Anexos I y II).

Se puede observar en la Tabla 2.15 como ha aumentado la emisión de COV no metanizados por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife desde el año 1998 hasta el año 2006.

Tabla 2.15. Emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales en la isla de Tenerife durante los años 1998 y 2006.

COV no metanizados	Tráfico que circulaba en la Isla de Tenerife en 1998 (Kg·d ⁻¹)	Tráfico que circulaba en la Isla de Tenerife en 2006 (Kg·d ⁻¹)
Benceno	168	225
Tolueno	628	842
Etilbenceno	101	136
Xilenos	320	429
BTEX	1213	1627
Radicales bencénicos	355	476
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	1514	2030
Hidrocarburos halogenados	55	73
COVs Totales	1541	2066

Los datos proporcionados por el Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife para el año 2006 contienen información geográfica de la localización de cada punto de muestreo. En la Figura 2.27 se puede observar la red de carreteras de la isla de Tenerife. Cada punto kilométrico donde se realizó el estudio está balizado con sus respectivas coordenadas GPS, obteniendo información sobre la latitud y la longitud de cada punto de observación. Con estos datos de ubicación y los valores de emisión de cada una de las especies estudiadas, se han realizado mapas de carreteras de la isla de Tenerife con los valores de emisión de COVs no metanizados en cada uno de estos puntos de observación (Figuras 2.28, 2.29, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34, 2.35 y 2.36). Es decir, se han estimado los Kg·d⁻¹·km de COVs no metanizados que genera el tráfico que entra y sale diariamente de Santa Cruz (235500 vehículos), estos Kg·d⁻¹·km de COVs se multiplican por

el número de vehículos·Km recorrido en cada tramo de carretera, obteniendo los Kg·d⁻¹ de COVs no metanizados en cada vía de circulación. Con estos resultados se pueden crear mapas de distribución espacial de COVs no metanizados en la isla de Tenerife.



Figura 2.27.- Mapa con las principales carreteras de la isla de Tenerife.

En la Figura 2.28 se muestra la distribución espacial de la emisión de benceno en las principales carreteras de la isla de Tenerife. Se observa como la mayoría de los puntos de observación presentan valores de benceno inferiores 1,5 Kg·d⁻¹. Destacan como principales fuentes de benceno a la atmósfera aquellas carreteras que soportan una mayor densidad de vehículos, destacando autopistas, cruces, conexiones entre dos importantes vías de circulación, vías en obras y/o que soportan grandes retenciones. En la entrada a Santa Cruz y en las carreteras TF47 y TF82 se han estimado valores de emisión de benceno, entre 1,6 y 3,0 Kg·d⁻¹. La carretera general TF47 discurre por las poblaciones sureñas de Alcalá, Armeñime, Playa San Juan y el Acantilado de los Gigantes, uno de los núcleos turísticos más importantes de la isla. La carretera general TF82 atraviesa

los municipios de San Juan de la Rambla, Icod de los vinos, Garachico, el Tanque, Santiago del Teide y Guía de Isora. La unión de dicha carretera con la carretera general TF47 tiene lugar en el término municipal de Guía de Isora, y es en esta confluencia de carreteras donde encontramos dichos niveles de emisión de benceno.

A lo largo de las autopistas TF1 (autopista que une el sur de la isla con la capital) y TF5 (autopista que une el norte de la isla con el área metropolitana Santa Cruz- La Laguna) y en sus confluencias es donde encontramos los valores de emisión de benceno a la atmósfera más significativos debidos al tráfico. Así por ejemplo, en la carretera general TF2, en el barrio de Añaza, se han estimado valores de emisión entre 3,1 y 4,5 Kg·d⁻¹. Esta vía de conexión une la autopista TF1 con la autopista TF5, siendo en este punto muy común la aparición de retenciones de tráfico con colas kilométricas a horas punta del día. Valores dentro de este orden son también registrados en la unión de la autopista del norte TF5 con la carretera general TF82, en el municipio de los Realejos, es en este punto kilométrico donde finaliza la autopista y se pasa a una carretera general de menos carriles que soporta todo el tráfico que se dirige a los municipios de la isla baja. Valores de emisión de benceno entre 4,6 y 6,0 Kg·d⁻¹ han sido estimados en el tramo de autopista TF5 que une el área metropolitana. En las entradas y salidas de la TF5 a la altura del término municipal de la Orotava y Puerto de la Cruz, los valores de benceno estimados están entre 6.1 y 8,0 Kg·d⁻¹. Cabe destacar que ambos núcleos soportan una densidad poblacional importante. En los accesos a la capital de la isla se han detectado valores de emisión de benceno entre 8,1 y 10,0 Kg·d⁻¹ de benceno.

Los mayores niveles de emisión de benceno, superiores a 10,1 Kg·d⁻¹, fueron evaluados en las incorporaciones y salidas de las dos principales arterias de circulación de la isla, es decir, en la TF1 y en la TF2, más concretamente en los accesos al aeropuerto Reina Sofía y aeropuerto de los Rodeos. En la incorporación a la autopista en TF1 en los términos municipales de Arico y de Güimar y en la Autopista del norte, en la TF5, en el termino municipal de la

Matanza también se han detectado similares niveles de emisión de benceno. El tramo de la autopista que discurre por el aeropuerto de los Rodeos es sin duda uno de los puntos negros en el tráfico insular, en esta área suelen producirse frecuentes retenciones de vehículos. En la autopista TF5 a la altura de la Matanza donde encontramos otro punto de máxima emisión de benceno, es donde comienzan las retenciones y las colas kilométricas provocadas por el parón total de vehículos a la llegada a La Laguna.

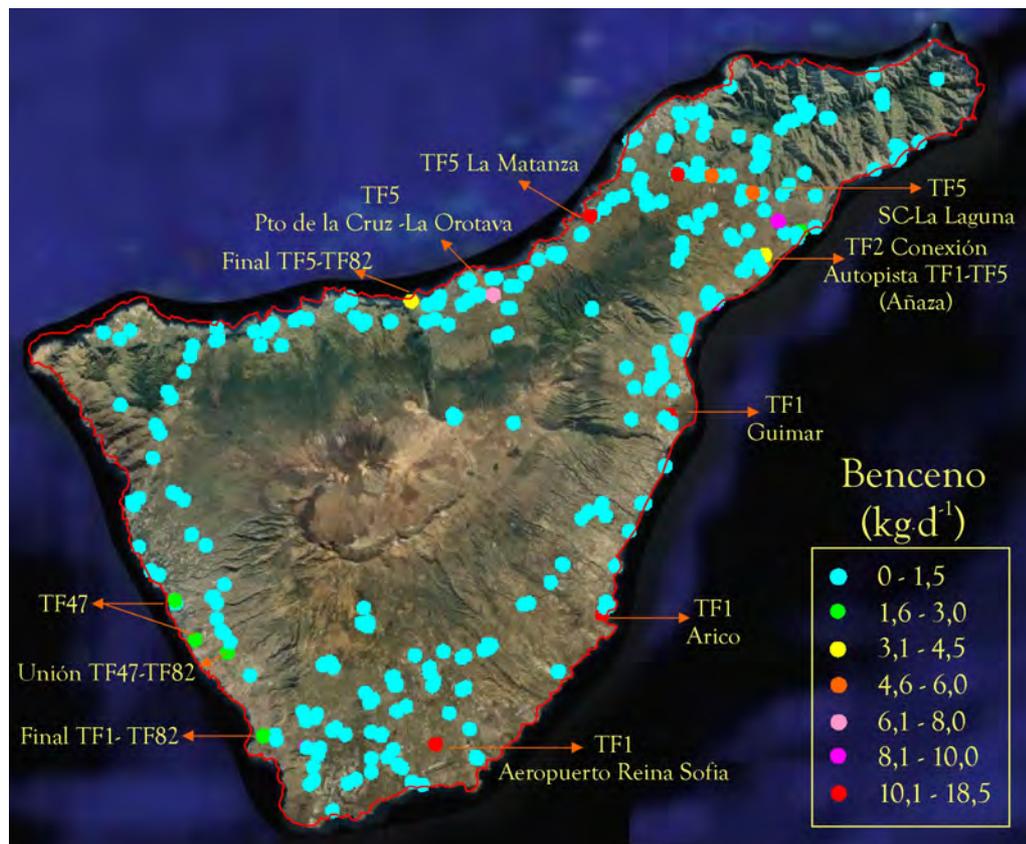


Figura 2.28.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de benceno en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

En la Figura 2.29 se muestra la distribución espacial de los niveles de emisión de tolueno ocasionados por el tráfico de vehículos por carreteras en la Isla de Tenerife. Podemos observar que las áreas donde localizamos las principales anomalías de tolueno son las mismas que las observadas en el caso del benceno. La mayor parte de la isla presenta valores de emisión de tolueno entre 0 y 5 Kg·d⁻¹. En la vía de penetración de la capital, a la altura de la Refinería de

Petróleo, en los municipios de la Orotava y Puerto de La Cruz se han estimado valores de tolueno entre 5 y 10 Kg·d¹. En este mismo orden de emisión encontramos las carreteras generales TF47 y TF82. En la conexión entre esta carretera general, TF82 y las autopistas TF5 y TF1 encontramos niveles de emisión de tolueno ligeramente superiores, entre 10 y 15 Kg·d¹. Valores de emisión de tolueno entre 15 y 20 Kg·d¹ son registrados en al comienzo de la TF2, en el barrio de Añaza y en la TF5 en el área metropolitana. En los accesos al municipio de la Orotava, Puerto de la Cruz y ciudad de la Laguna se han estimado niveles de emisión de tolueno entre 20 y 30 Kg·d¹. Al igual que para el caso del benceno se observa como la entrada a Santa Cruz presenta importantes niveles de emisión de tolueno a la atmósfera, entre 30 y 40 Kg·d¹, pero sin lugar a dudas las áreas con mayores niveles de emisión de tolueno, entre 40 y 70 Kg·d¹, han sido las áreas anexas al aeropuerto Reina Sofía, aeropuerto de los Rodeos, incorporación a la autopista en los términos municipales de Arico, Güimar y la Matanza.

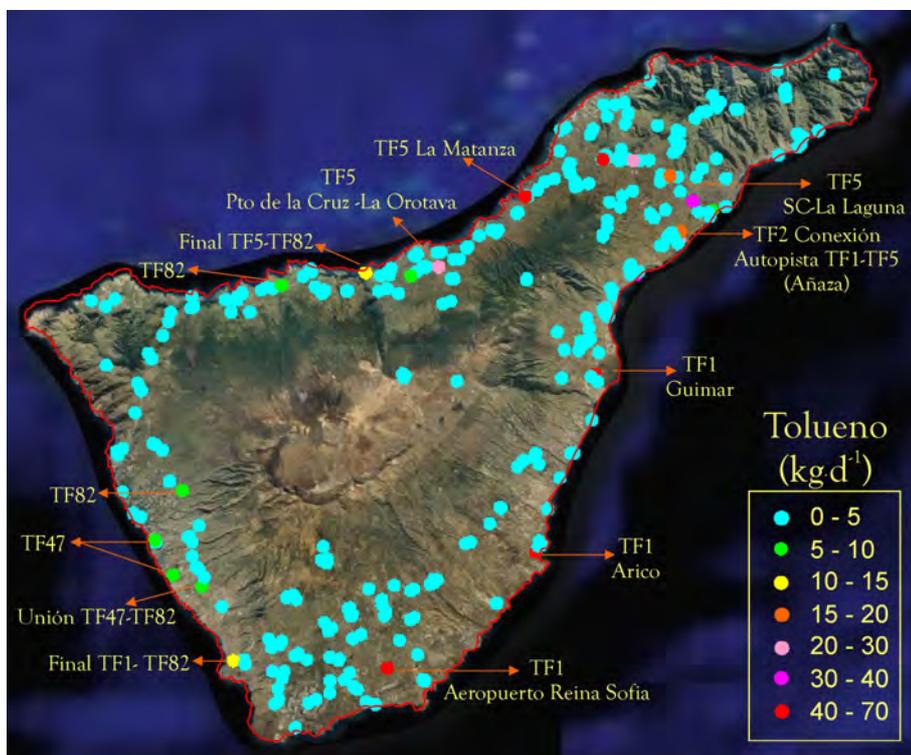


Figura 2.29.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de tolueno en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

En la Figura 2.30 se muestran los principales puntos de emisión de etilbenceno en las carreteras de la isla. La distribución de las emisiones de etilbenceno es similar a las registradas para los otros COV no metanizados estudiados. La mayor parte del área de estudio presenta valores inferiores a $0,5 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ de etilbenceno. Valores de emisión de etilbenceno comprendidos entre $0,5$ y $1,0 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ han sido determinados en las entradas y salidas de S/C de Tenerife, la Orotava y Puerto de la Cruz hacia la TF5 o viceversa, en la confluencia de tres carreteras comárcales del sur de la isla, la TF21, TF28 y TF64, que convergen en el término municipal de Granadilla de Abona. Dichos niveles de emisión de etilbenceno también han sido estimados por primera vez en las entradas y salidas de la TF1 hacia las ciudades de Los Cristianos y Las Américas, principales enclaves turísticos del sur de la isla y en la carretera general TF 13, a su entrada en La Laguna y en la Vía de Ronda. Esta carretera general se extiende por los municipios de Tegueste, Tejina, Bajamar y La Punta y soporta una densidad de tráfico importante. Es a su entrada en La Laguna donde su densidad aumenta más si cabe debido a la unión del tráfico proveniente de las Mercedes y de barrios laguneros tan importantes como son el Bronco y la propia Vega Lagunera. Este intervalo de valores de emisión de etilbenceno se registra también en las carreteras generales TF47 y TF82, así como en la unión de ambas carreteras generales del sur de la isla. En el tramo final de la TF47 donde ocasionalmente el tráfico discurre algo menos fluido de lo habitual, estimamos valores de emisión de etilbenceno entre $1,0$ y $1,5 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En la entrada a S/C de Tenerife también estimamos valores similares de emisión de etilbenceno. Valores de emisión de etilbenceno entre $1,5$ y $3,0 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ se han registrados en la carretera general TF82, en su unión con ambas autopistas y en la TF2, en el barrio de Añaza principalmente.

Las entradas y salidas de la Orotava y del Puerto de la Cruz están caracterizadas por niveles de emisión de etilbenceno considerables, siendo en estas zonas conjuntamente con los puntos de observación ubicados en la TF5 dentro del área metropolitana donde hemos determinado valores de emisión de etilbenceno entre 3 y $5 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En las entradas y salidas de la TF1 al Aeropuerto

Reina Sofía y en las entradas y salidas de la capital Santa Cruz de Tenerife se estimaron valores comprendidos entre 5 y 7 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Los valores más altos de emisión de etilbenceno son muy similares a los observados en la distribución de las emisiones de benceno y tolueno, y tienen lugar en la TF1, en la incorporación a la autopista de el término municipal de Arico, en la TF5 en las proximidades del Aeropuerto de los Rodeos y en el término municipal de la Matanza.

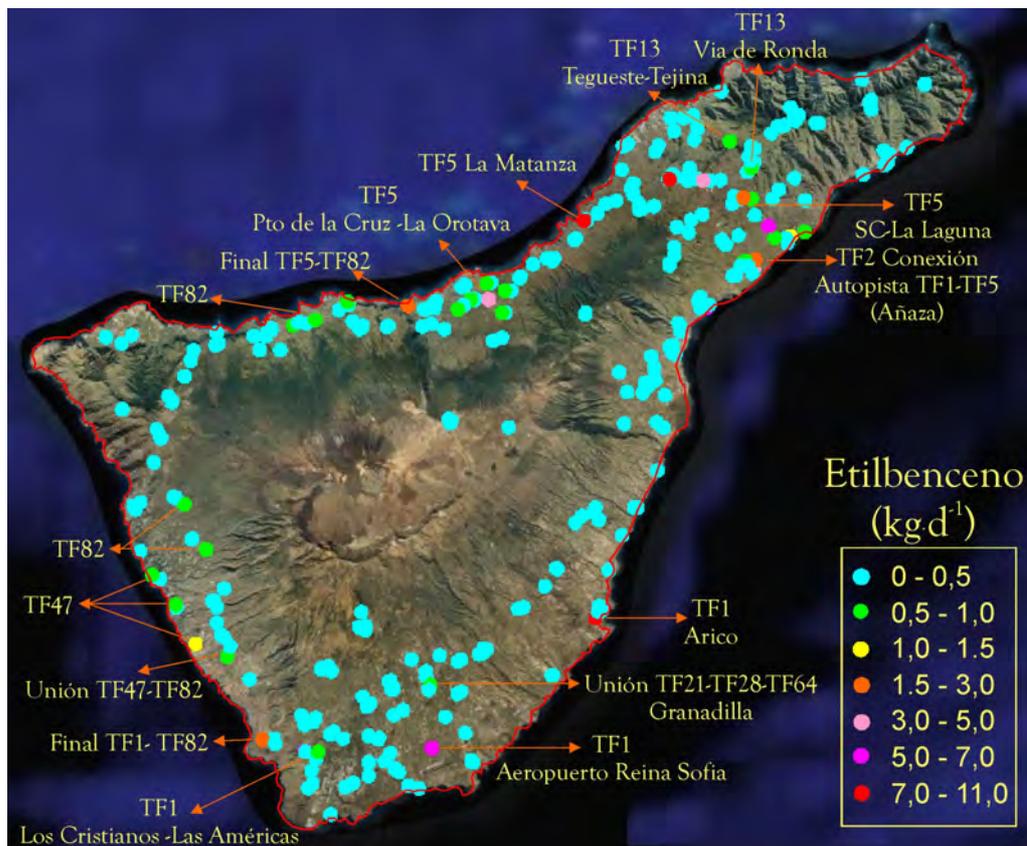


Figura 2.30.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de etilbenceno en las principales carreteras de la isla de Tenerife. (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

La distribución de las emisiones de xilenos por parte del tráfico en la Isla de Tenerife se muestra en la Figura 2.31. En la mayor parte de los puntos de observación se observan valores inferiores a 2 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En las entradas y salidas de S/C de Tenerife, la Orotava y Puerto de la Cruz, Los Cristianos y Las Américas, unión de las carreteras comárcales TF21, TF28 y TF64 que convergen en el término municipal de Granadilla de Abona, carretera general TF 13, a la entrada

a la ciudad de La Laguna, a lo largo de la zona metropolitana Santa Cruz-La Laguna y en las carreteras generales TF47 y TF82, y en la unión de ambas, los valores de emisión de xilenos variaron entre 2 y 4 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En el tramo final de la TF47 y en la unión de la TF82 con la autopista del sur, TF1, encontramos niveles de emisión de xilenos entre 4 y 6 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En la unión de la TF5 con la TF82 se estimaron valores de xilenos entre 6 y 8 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. A lo largo de la TF5, en el área metropolitana y en la TF2, conexión de ambas autopistas, encontramos niveles de emisión entre 8 y 10 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En las entradas y salidas de la Orotava, Puerto de la Cruz y S/C de Tenerife, y a lo largo de la TF5, se estimaron valores de emisión de xilenos entre 10 y 20 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Los valores más altos de emisión de xilenos, de 20 a 35 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ han sido medidos en la TF1 en la incorporación a la autopista en el Aeropuerto de Reina Sofía, en el término municipal de Arico y en la TF5 en las proximidades del Aeropuerto de los Rodeos y el término municipal de la Matanza.

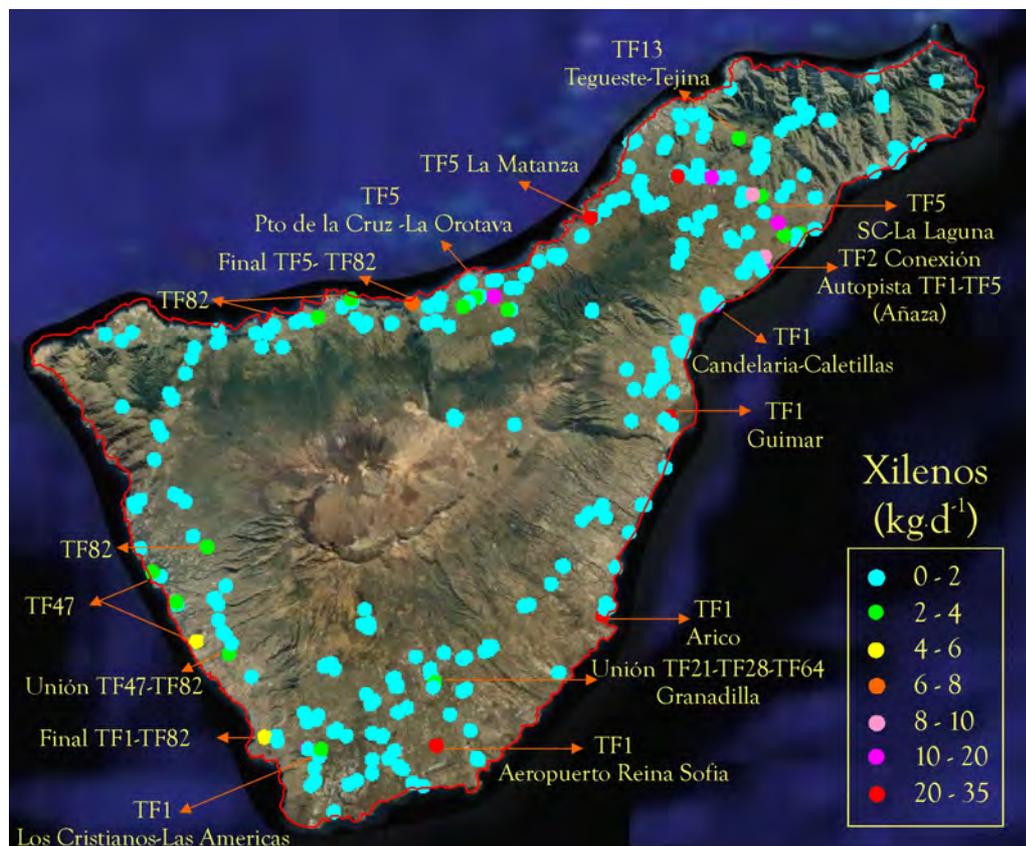


Figura 2.31.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de xilenos en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

En la Figura 2.32 se representa la distribución espacial de las emisiones de BTEX en la Isla de Tenerife. Aunque la mayor área de estudio presenta valores de emisión de BTEX inferiores a $5 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$, existen un importante número de puntos de observación donde la emisión de BTEX se encuentra entre 5 y $10 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Estas zonas se corresponden con las entradas y salidas a la Orotava, Puerto de La Cruz, Güimar, los Cristianos, Las Américas, Santa Cruz, La Laguna, Las Chafiras y Parque de la Reina. En estos dos últimos núcleos poblacionales se estimaron emisiones relativamente altas de COVs no metanizados por primera vez.

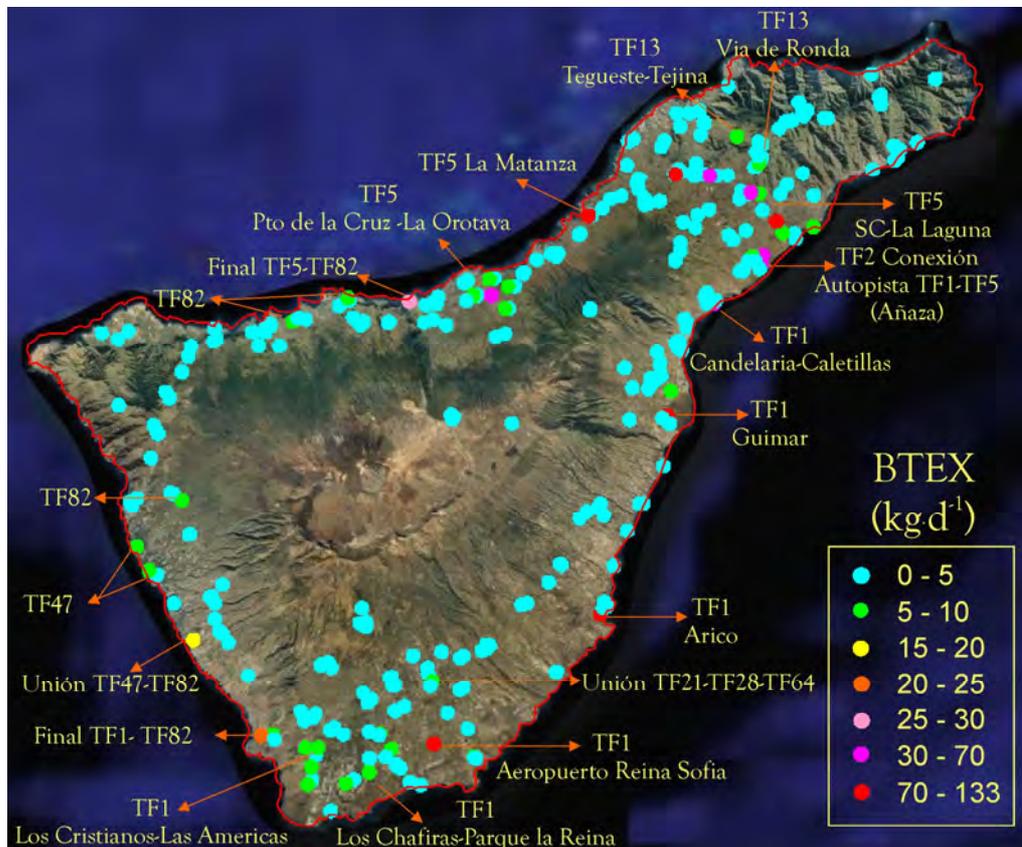


Figura 2.32.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de BTEX en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

A lo largo de las carreteras generales TF47, TF82 y unión de ésta última con las autopistas TF1 y TF5, TF13 y unión de las carreteras comarcales TF21-TF28-TF64 en el término municipal de Granadilla de Abona, se encontraron valores similares de emisión de BTEX. Valores de emisión de BTEX enmarcados en el

intervalo de 15 a 30 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ se estimaron en la unión de las carreteras generales TF47 y TF82. En la unión de la carretera general TF82 con las autopistas TF1 y TF5 detectamos niveles de emisión de BTEX entre 20-25 y 25-30 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. Es de destacar los altos valores de emisión de BTEX (30-70 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$) observados a lo largo la autopista TF5, en el área metropolitana, en la entradas y salidas de la Orotava y Puerto de la Cruz y en la TF2 (conexión entre ambas autopistas). Sin embargo, los mayores valores estimados de BTEX fueron localizados en la entrada a S/C de Tenerife, en la TF5 y TF1 a la altura del aeropuerto de los Rodeos y aeropuerto Reina Sofía, en el término municipal de la Matanza y en los términos municipales de Arico, Güimar y Candelaria.

En la Figura 2.33 se muestra la distribución espacial de los principales puntos de emisión de radicales bencénicos producidos por el tráfico por carreteras en la Isla de Tenerife. Los valores de fondo ($<4 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$) de emisión de radicales bencénicos están presentes en la mayor parte de los puntos de observación. En las carreteras generales TF47 y TF82 así como en la unión de estos con la TF1, y en la entrada a la capital se estimaron valores de emisión entre 4 y 6 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ de radicales bencénicos.

La unión de la TF5 con la TF82 se caracteriza por presentar valores de emisión de radicales bencénicos entre 6 y 8 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En el barrio de Añaza, en la TF2 y a lo largo de la TF5 se registraron valores de emisión entre 8 y 10 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En la TF1 y a lo largo del área metropolitana se observaron valores entre 10 y 15 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. El punto de observación localizado en la entrada y salida de la Orotava y Puerto de la Cruz mostró niveles de emisión de radicales bencénicos entre 15 y 20 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Por último, destacar como principales puntos de emisión de radicales bencénicos (entre 20 y 38 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$) los localizados a lo largo de la TF5 en el término municipal de la Matanza, aeropuerto de los Rodeos, entradas y salidas de Santa Cruz, en la TF1 en el Aeropuerto Reina Sofía, en el término municipal de Arico y Candelaria.

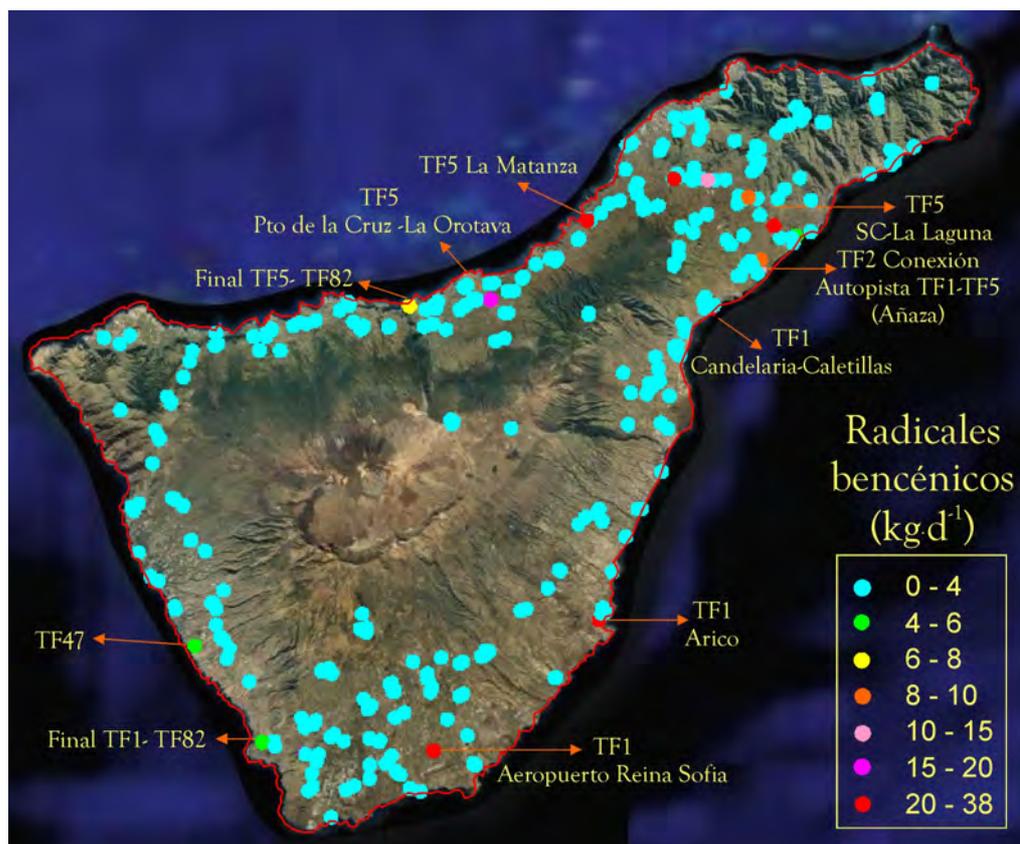


Figura 2.33.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de radicales bencénicos en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

La distribución espacial de los niveles de emisión de los hidrocarburos aromáticos no halogenados se representa en la Figura 2.34. Podemos observar como predominan valores de emisión inferiores a $10 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Los puntos de observación con tasas de emisión comprendidas entre 10 y $20 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ se corresponden con las carreteras generales TF47 y su unión con la TF82, unión de la TF82 con la TF5, TF13, unión TF21-TF28-TF64, entradas y salidas a Santa Cruz, Puerto de la Cruz, La Orotava, Los Cristianos y Las Américas. Al final de la carretera general TF47 en su unión con la autopista TF1 y con la carretera general TF82 los valores de emisión registrados están entre 20 y $30 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. El final de la autopista TF5, los puntos de observación ubicados en la zona metropolitana y su unión con la TF1 a través de la TF2 quedan caracterizados por niveles de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados entre 30 y $60 \text{ Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Destacan los valores de emisión estimados en las entradas y salidas de

Candelaria-Caletillas, Santa Cruz, la Orotava y Puerto de la Cruz, entre 60 y 90 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En los puntos de observación localizados en las proximidades de ambos aeropuertos y junto a las entradas y salidas hacia la TF1 en el término municipal de Arico se estimaron valores de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados entre 90 y 120 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Los mayores niveles de emisión registrados para estos contaminantes fueron detectados en la TF5 en el término municipal de la Matanza y en la TF1 en el término municipal de Güimar.

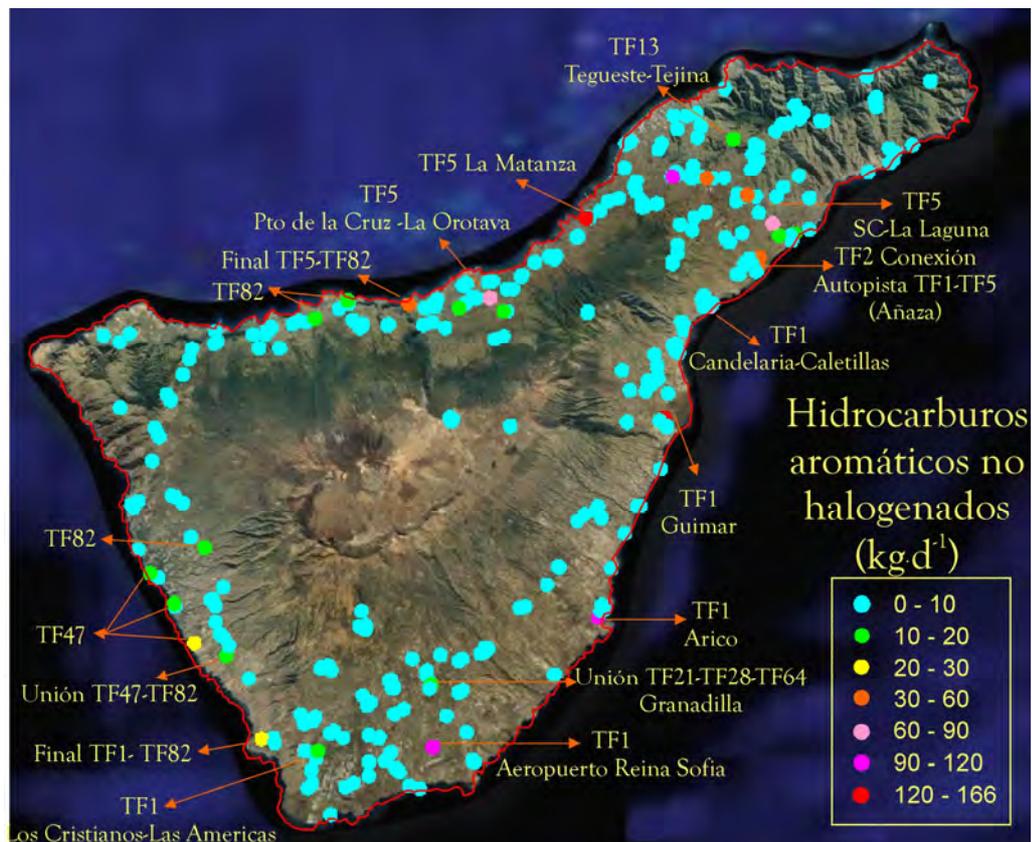


Figura 2.34.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

En la Figura 2.35 se muestran los niveles de emisión a la atmósfera de hidrocarburos halogenados producidos por el tráfico de vehículos por carretera en Tenerife. En la mayoría de los puntos de observación predominan valores inferiores a 0,2 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En las entradas y salidas de Santa Cruz, La Laguna, la Orotava, Puerto de la Cruz, Los Cristiano, Las Américas y Güimar se han estimado valores de emisión entre 0,2 y 0,4 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$. También se localizan estos

niveles de emisión en las carreteras generales TF82 y su unión con la TF5 y TF1, TF47 y TF13 en su entrada en el municipio de La Laguna y en su discurrir por la Vía de Ronda. En las carreteras generales TF47, TF82 y en la unión de ambas, en la convergencia de las carreteras TF21-TF28-TF64 en Granadilla, y en las entradas y salidas de la Orotava, Puerto de la Cruz, Los Cristianos, Las Américas y Santa Cruz, hemos estimado valores de emisión de hidrocarburos halogenados entre 0,4 y 0,6 Kg·d⁻¹.

Así mismo, hemos observado niveles de emisión de estos compuestos entre 0,6 a 0,8 Kg·d⁻¹ en el tramo final de la carretera general TF47 y en la entrada a la capital. Valores comprendidos entre 1 y 3 Kg·d⁻¹ han sido registrados en la conexión de ambas autopistas (TF2), a lo largo de la TF5 entorno a el área metropolitana y en la TF5 en las entradas y salidas a los términos municipales de La Orotava, Puerto de La Cruz, y en la unión de la TF5 y la carretera general TF82. Lo máximos valores estimados de emisión de hidrocarburos halogenados están localizados en los puntos de observación ubicados en ambos aeropuertos (Los Rodeos y Reina Sofía), en las incorporaciones a la autopista TF1 en el termino municipal de Güimar y Candelaria y en las incorporaciones a la TF5 en el término municipal de la Matanza.

En la Figura 2.36 se muestra la distribución espacial de los niveles de emisión a la atmósfera de COVs no metanizados debidos al tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife. Esta figura nos da una visión global de la emisión de dichos contaminantes a la atmósfera en este ecosistema insular y nos muestra las zonas críticas de mayor emisión de contaminantes, las cuales se corresponden con las áreas que soportan una mayor densidad de tráfico. Como se puede observar, la gran mayoría de los puntos de observación presentan valores de emisión de COVs no metanizados inferiores a 5 Kg·d⁻¹. La autopista del norte, TF5 y la autopista del sur, TF1 son las principales arterias de circulación de la isla donde encontramos los mayores niveles de emisión a la atmósfera de COVs no metanizados. Se puede apreciar con claridad su trazado debido a la abundancia de colores calidos en los puntos de observación, sobre todo en la

TF5 y en las entradas y salidas de las autopistas hacia los núcleos poblacionales más importantes y aeropuertos.

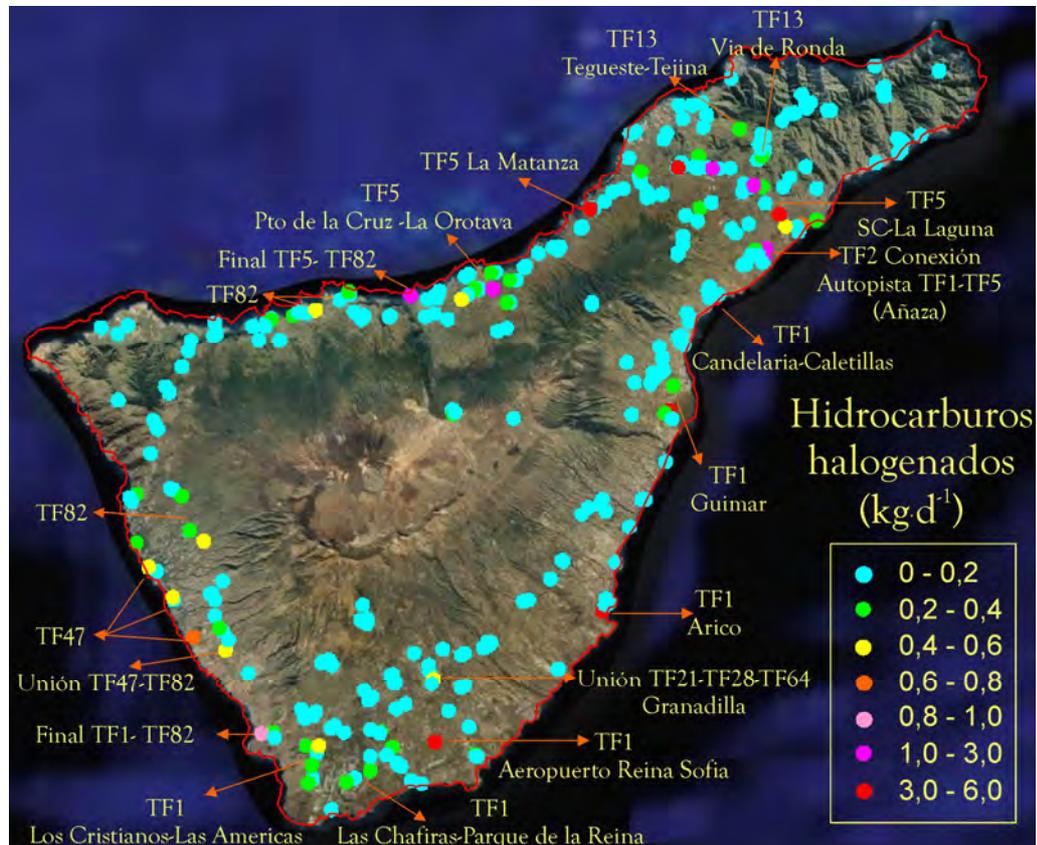


Figura 2.35.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de Hidrocarburos halogenados en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

Las carreteras generales que desembocan en las autopistas y que traen el tráfico de las áreas periféricas de la isla son los segundos contribuyentes de dicha emisión de COVs no metanizados a la atmósfera. Si observamos más detalladamente la Figura 2.34, en las entradas y salidas a importantes núcleos poblacionales como Santa Cruz, La Laguna, La Orotava, Puerto de la Cruz, Los Cristianos y Las Américas, aparecen niveles de emisión a la atmósfera de COVs no metanizados entre 5 y 20 Kg·d⁻¹. También se han observado valores dentro de este amplio rango en importantes carreteras generales como; 1) La TF 47 que soporta todo el tráfico de núcleo poblacionales sureños y tan turísticos como el Acantilado de los Gigantes, Alcalá, Armeñime etc. 2) La carretera general TF82

que une la isla baja con el sur de la isla, siendo esta carretera la que une diversos municipios de importancia en el noroeste de la isla como son Icod de los Vinos, Garachico, el Tanque, Santiago del Teide y Guía de Isora, soportando un importante tráfico de vehículos pesados. La unión de esta carretera general con la TF47 es una de las zonas con niveles de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera más importante. 3) La carretera general TF13, que une los núcleos poblacionales de la Punta del Hidalgo, Bajamar, Tejina y Tegueste con La Laguna. Además de la intensa densidad de tráfico que soporta esta vía de circulación a su entrada en la Laguna se producen numerosas retenciones pues se une el tráfico proveniente de las Mercedes más el tráfico propio de La Laguna (Barrio del Bronco, La Vega etc.). El tramo final de la TF13, más comúnmente llamado Vía de Ronda, soporta una importante densidad vehicular. 4) La intersección de las carreteras generales TF21-TF28-TF64 en el término municipal de Granadilla y que engloba todo el tráfico que proviene de las medianías sureñas con destino a la autopista TF1 es otro de los puntos con dichos valores de emisión.

En los tramos finales de la carretera general TF47 hemos estimado valores relativamente altos de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera entre 20 y 30 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$, debidos posiblemente a que en esta zona se producen frecuentes retenciones de tráfico. A lo largo del trazado de la TF5 por la zona metropolitana, en la TF2, en las entradas y salidas de la Orotava, Puerto de la Cruz y en la unión del tramo final de la TF5 y la TF82 se pueden apreciar niveles de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera comprendidos entre 30 y 70 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$, al igual que con la unión con la TF1 se produce una reducción de carriles.

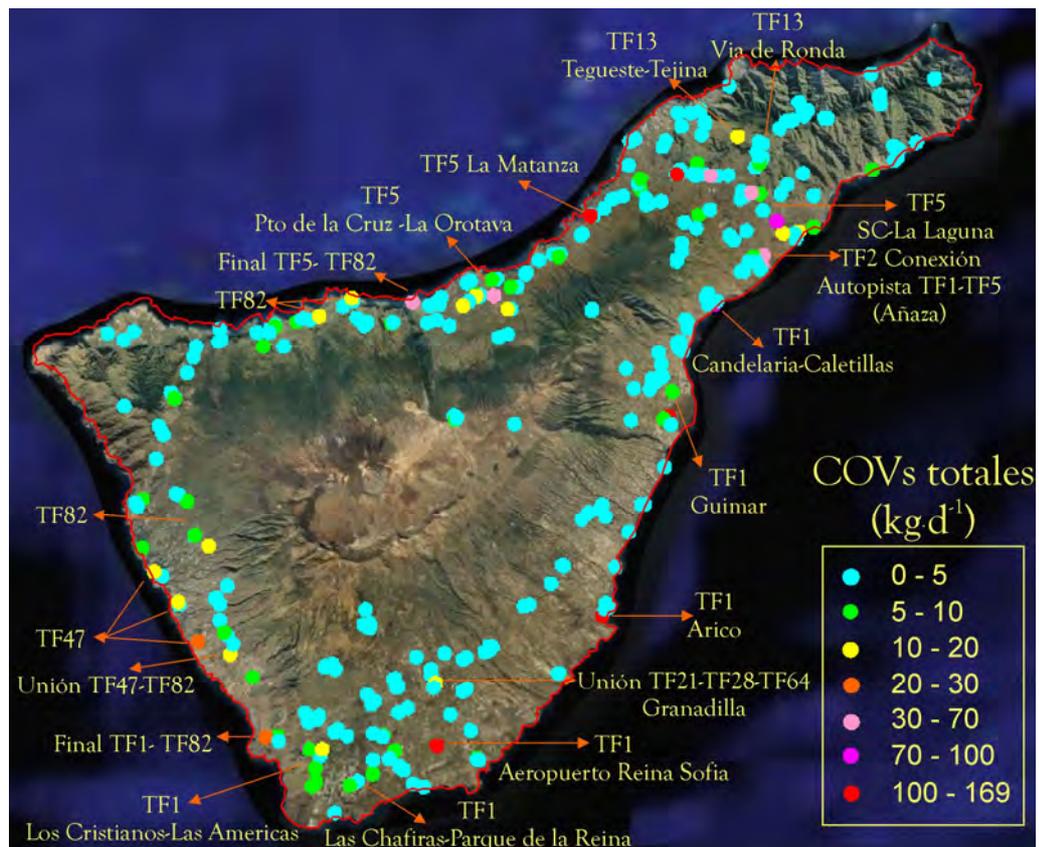


Figura 2.36.- Distribución espacial de los principales puntos de emisión de COVs totales en las principales carreteras de la isla de Tenerife (IMD 2006, Servicio de Carreteras del Cabildo de Tenerife).

Justo en la entrada a Santa Cruz por la TF5 se han estimado valores de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera de 70 a 100 Kg·d⁻¹. Los mayores niveles de COVs a la atmósfera en la isla de Tenerife se localizan en seis puntos claves, uno de ellos es la entrada y salida al aeropuerto Reina Sofía, otros son la incorporación de vehículos a la autopista TF1 desde Arico y desde el valle de Güimar. El cuarto punto que no se aprecia bien por existir más puntos de observación junto a él es el que encontramos entre Candelaria y Caletillas. El quinto y sexto punto de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera se localizan en las cercanías del aeropuerto de los Rodeos y en el municipio de la Matanza.

Estos resultados reflejan como el tráfico de vehículos por carretera es una fuente importante de emisión de COVs a la atmósfera, evidenciando la incidencia de la actividad humana sobre la calidad del aire en la Isla de Tenerife.

2.3.2 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por el tráfico rodado en otros ambientes urbanos

Como hemos mencionado anteriormente, los estudios de emisiones de COVs no metanizados realizados en túneles nos proporcionan una información más real sobre las emisiones de estos contaminantes que los resultados obtenidos mediante la realización de tests dinamométricos y simulaciones en laboratorios, los cuales no cuentan con patrones de conducción reales (Loneman et al., 1974, 1986; Staehelin et al., 1998; Hwa et al., 2002; Sakurai et al., 2002; Nolasco et al., 2003a, 2005a, 2006a).

En la Tabla 2.16 se muestran las concentraciones promedio de BTEX obtenidas en ensayos realizados en diferentes túneles. En dicha tabla se representan los resultados obtenidos en esta tesis doctoral sobre las emisiones de BTEX por el tráfico rodado en el túnel de la Avda. Tres de Mayo, así como los datos de emisión de BTEX en estudios realizados por Loneman et al. (1974, 1986), en el túnel de Lincoln, Manhattan, EE.UU. Dicho estudio fue uno de los primeros trabajos de investigación realizados en el interior de túneles y es de referencia obligada en la mayoría de los artículos científicos sobre emisión de COVs no metanizados por el tráfico rodado. También quedan reflejados en dicha tabla los trabajos realizados por Colon et al. (2001), en el túnel 9 de Julio en Sao Paulo, Brasil y el estudio interesantísimo llevado a cabo por Na et al. (2002), en el túnel de Sangdo en Seúl, Corea del Sur, durante tres estaciones diferentes. Se puede observar además de la fecha en la que se desarrolló cada experimento, la metodología utilizada para la toma de muestras, el equipo utilizado en la identificación y cuantificación de los COVs no metanizados, el método establecido para el análisis de las muestras, la longitud del túnel, el sentido del tráfico existente en el interior del mismo, el volumen de tráfico que soporta el túnel medido en vehículos/hora, la velocidad media de los vehículos que atraviesan el túnel, y por último y no menos importante, la existencia o ausencia de un sistema de ventilación en el túnel. La toma de muestras en los ensayos realizados en esta tesis doctoral se realizó mediante canisters de acero

inoxidable previamente evacuados al vacío. En el experimento realizado por Lonneman et al. (1974, 1986) se utilizaron bolsas Tedlar para la toma de muestras. Las bolsas Tedlar son bolsas herméticas especiales de recepción y transporte de muestras en la que se introducen los gases aspirados en el interior de una cámara o caja donde se realiza el vacío a través de una bomba. Dicha caja se conecta a una sonda de extracción de la muestra, por lo que al realizarse el vacío en la cámara, la presión diferencial hace que la bolsa Tedlar se hinche absorbiendo el gas a través de la sonda de muestreo. En los casos en los que se utilice una bomba peristáltica para el almacenamiento del gas, esta deberá ser de caudal regulable, para conocer exactamente el volumen de gas bombeado y recogido. Los resultados de la Tabla 2.16 indican que el Túnel de Lincoln es el que presenta mayores valores de concentración de BTEX. Este túnel está situado bajo el río Hudson y conecta la ciudad de Nueva York con la Isla de Manhattan. Tiene una longitud de dos kilómetros y medio y es, junto con el túnel de Sangdo en los periodos de primavera, el que más volumen de tráfico soporta de los túneles expuestos en la Tabla 2.16. A pesar de ser el túnel que presenta los mayores valores de concentración de BTEX, en los dos experimentos realizados en el mismo por Lonneman et al. (1974, 1986), se aprecia una clara disminución en la concentración de BTEX de los años setenta a los ochenta. Lonneman et al. (1986), explica esta disminución debida a la aparición de nuevos vehículos con sistema post combustión y catalizadores. El Túnel de Sangdo conecta la ciudad de Seúl con el Puente del Río Han. En él se observan, después del túnel de Lincoln, los mayores niveles de concentración de BTEX durante el periodo de primavera.

Tabla 2.16. Valores promedio de concentración de benceno, tolueno, etilbenceno, m y p-xilenos y o-xileno, obtenidos a través de ensayos realizados en el interior del túnel de la Avda. Tres de Mayo (Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias), en el túnel de Lincoln (Manhattan, EEUU) en el túnel 9 de Julio (Sao Paulo Brasil) y en el túnel de Sangdo (Seúl Corea del Sur)

COV no metanizados (ppbV)	Túnel Avda Tres de Mayo	Túnel de Lincoln ^a (1970)	Túnel de Lincoln ^a (1982)	Túnel 9 de Julio ^b	Túnel de Sangdo ^c			\bar{x}
					Primavera	Verano	Invierno	
Benceno	7,6	1182,5	202,2	11,0	13,2	4,3	6,6	8,0
Tolueno	24,9	1286,4	303,4	13,7	28,9	18,0	15,6	20,1
Etilbenceno	3,6	?	?	3,0	3,8	2,0	1,6	2,5
m+p Xileno	6,9	960,8	162,7	10,8	19,7	4,9	6,8	10,5
o-xileno	3,5	290,6	74,3	4,1	5,0	2,5	2,1	3,2
Fecha del Experimento	2003-2004	1970	Sept 1982	?	Primavera, verano e invierno de 2000			
Toma de Muestras	Canister	Tedlar-bag	Tedlar-bag	Canister	Canister			
Equipo utilizado	GC/MS	GC/FID	GC/FID	GC/MS	GC/MS			
Método	TO-14 EPA	?	?	TO-14 EPA	TO-14 EPA			
Longitud del túnel (m)	1000	2500	2500	< 1	566			
Dirección del tráfico	1	2	2	1	2			
Volumen Tráfico (vehículos/h)	833	?	2000	?	2040	1106	2243	1796
Velocidad media (Km/h)	60	?	?	?	20-60			
Sistema de ventilación	SI	SI	SI	NO	NO			

^aLonneman et al., 1974 y 1986, ^bColon et al., 2001, ^cNa et al., 2002, - no hay información

Esto puede ser debido además de al intenso tráfico que soporta un túnel de tan pequeñas dimensiones a que la ventilación en el interior del mismo es generada por los vehículos que lo atraviesan, ya que no existe sistema de ventilación alguno. Los niveles de emisión de BTEX en el interior del túnel de Sangdo durante los periodos de verano e invierno, del túnel 9 de Julio en Brasil y del túnel de la Avda Tres de Mayo son muy similares. No podemos dar una explicación convincente para la similitud de valores observada entre el túnel 9 de Julio y nuestro caso de estudio pues no disponemos de datos de tráfico, ignoramos cual es la densidad de tráfico en el túnel 9 de Julio. En cuanto a la similitud de valores entre el túnel de la Avda Tres de Mayo y el túnel de Sangdo durante los periodos de verano puede explicarse a que el tráfico que soporta este túnel durante esta estación es menor que en primavera. En invierno, a pesar de soportar la misma densidad de tráfico que en primavera, las precipitaciones son más abundantes lo que puede provocar un lavado de la atmósfera, una mejor eliminación de los contaminantes y provocar una mejor difusión de contaminantes desde el interior del túnel hacia el exterior donde la atmósfera tiene menor concentración de contaminantes. Esto hecho se ve facilitado por la pequeña longitud de dicho túnel. En estos tres estudios se han utilizado recipientes similares para la toma de muestras, además el análisis y cuantificación de los BTEX, se ha realizado con GC/MS/MS siguiendo el protocolo TO-14. Los valores de concentración de COVs no metanizados están en el mismo orden de magnitud a pesar de que en el túnel de Sangdo y en el 9 de Julio en Brasil no existe sistema de ventilación alguno. Cabe destacar que ambos túneles tienen una longitud inferior a la del túnel de la Avda Tres de Mayo.

En la Tabla 2.17 se presentan los niveles promedio de emisión de BTEX en mg/vehículo·Km obtenidos en los diferentes ensayos realizados en el túnel de la Avda Tres de Mayo, en el túnel de Gubrist en 1993 y 2002 (Zurich, Suiza), en el túnel de Taipei (Taipei, Taiwán), en el túnel de Tauern en 1988 y 1997 (Austria), en el túnel de McHenry (Baltimore, EE.UU.) y en el túnel de Tuscarora Mountain (Pensilvania, EE.UU.). Además de los valores promedio de emisión de BTEX, y al igual que en la tabla 2.16, se describen también la fecha

en la que se desarrollo cada experimento, la metodología utilizada para la toma de muestras, el equipo utilizado en la identificación y cuantificación de los COVs no metanizados, el método establecido para el análisis de las muestras, la longitud del túnel, los sentidos de tráfico existentes en el interior del mismo, el volumen de tráfico que soporta el túnel medido en vehículos/hora, la velocidad media de los vehículos que atraviesan el túnel y por ultimo y no menos importante la existencia o ausencia de un sistema de ventilación en el túnel. En los experimentos realizados en el túnel de Gubrist por Staehelin et al. (1999) y en los túneles de Fort McHenry y Tuscarora Mountain por John et al. (1999), Sagebiel et al. (1996) y Pierson et al. (1996), se hace una distinción entre las emisiones en mg/vehículo·Km procedentes de vehículos cuyo combustible es gasolina o diesel. En el resto de los ensayos realizados no se hace diferenciación alguna entre los BTEX emitidos por un tipo u otro de vehículo. En el caso del túnel de la Avda. Tres de Mayo, tienen prohibida la entrada a camiones y vehículos pesados, y el paso de autobuses en su interior es muy limitado. La gran mayoría de vehículos que circulan en su interior son vehículos ligeros, principalmente turismos y el mayor porcentaje de estos no son vehículos diesel.

El túnel de Gubrist está localizado a 9 Km al norte del centro de la ciudad de Zürich, Suiza, tiene una longitud de 3270 m y es el túnel de los representados en la Tabla 2.17 en el que los vehículos circulan a una mayor velocidad media. Es con diferencia el túnel donde más estudios de emisión de contaminantes atmosféricos debidos al tráfico rodado se han realizado. En la Tabla 2.17 se muestran los resultados de dos estudios de los más importantes realizados sobre contaminación en el interior de este túnel. El primero se realizó en septiembre de 1993 y está perfectamente descrito en el artículo científico de Staehelin et al. (1998), mientras que el segundo estudio fue realizado en octubre de 2002 sobre COVs no metanizados y descrito por Stemmler et al. (2005). Ambos estudios utilizaron una metodología similar. En el segundo estudio se aprecia una notable disminución de los BTEX en el interior del túnel de Gubrist durante los nueve años transcurridos.

Tabla 2.17. Valores promedio de emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, m y p-xilenos y o-xileno en mg/vehículo·Km, obtenidos en a través de ensayos realizados en el túnel de la Avda. Tres de Mayo (Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias), túnel de Gubrist (Zurich, Suiza), túnel de Taipei (Taipei, Taiwán), túnel de Tauern (Austria), túnel de McHenry (Baltimore, EE.UU.) y en el túnel de Tuscarora Mountain (Pensilvania, EE.UU.).

COV no metanizados (mg/Vehículo·Km)	Túnel Avda Tres de Mayo		Túnel Gubrist (1993) ^a		Túnel Gubrist (2002)		Túnel de Taipei ^c		Túnel de Tauern ^d (1988)		Túnel de Tauern ^d (1997)		Túnel de Fort McHenry ^{e,f}		Túnel de Tuscarora Mountain ^{e,f}	
		Gasolina	Diesel										Gasolina	Diesel	Gasolina	Diesel
Benceno	18,3	10,4	15,4		2,7		12,2	101		101	7,9		14,8	12,0	9,2	8,5
Tolueno	68,2	16,0	21,3		6,4		29,0	173		173	16,9		29,1	16,9	14,2	13,7
Etilbenceno	11,1	3,6	7,2		1,4		5,9	26,4		26,4	3,6		7,0	10,7	2,8	2,5
m+p xilenos	22,8	10,8	27,2		4,0		8,9	88,0		88,0	12,1		23,9	41,4	10,5	10,7
o- xileno	12,1	4,8	6,3		1,8		7,9	33,2		33,2	5,7		8,7	14,1	4,0	4,3
Fecha del Experimento	2003-2004	Sept 1993		Octb 2002	Octb 2002		Julio 2000	Sept 1988	Octb 1997	Octb 1997		Junio 1992		Sept 1992		
Toma de Muestras	Canister	Canister		Canister	Canister		Canister	Tedlar-bag	Analizador portátil de BTEX*	Canister		Canister		Canister		
Equipo utilizado	GC/MS	GC/FID		GC/MS	GC/MS		GC/MS	GC/FID	GC/FID	GC/FID		GC/FID		GC/FID		
Método	TO-14 EPA	TO-14 EPA		TO-14 EPA	TO-14 EPA		TO-15 EPA	?	?	?		TO-14 EPA		TO-14 EPA		
Longitud del Túnel (m)	1000	3270		3270	3270		800	6400	6400	6400		2336		1623		
Dirección del tráfico	1	1		1	1		1	2	2	2		1		1		
Volumen Tráfico (Vehc/h)	875	?		1940	1940		2296	717	465	465		4970		1329		
Velocidad media (Km/h)	60	92		90	90		67	63	76	76		80		88		
Sistema de ventilación	SI	SI		SI	SI		?	SI	SI	SI		SI		SI		

^aJohn et al., 1999; ^bStemmler et al., 2005; ^cHwa et al., 2002; ^dSchmid et al., 2001; ^eSagebiel et al., 1996; ^fPierson et al., 1996 ; ? se

Según Stemmler et al. (2005), se observa una disminución del 80% de las emisiones de hidrocarburos durante el intervalo de tiempo entre ambas investigaciones, esta mejora se explica principalmente por la eliminación casi completa de automóviles sin catalizadores de la flota de automóviles de Suiza en la última década. Pierson et al. (1996) y Sagebiel et al. (1996), realizaron un estudio en el túnel de Fort McHenry en Baltimore, Maryland, en junio de 1992 y en el túnel de Tuscarora Mountain, Pensilvania, en septiembre de ese mismo año. Los datos expuestos en la Tabla 2.17 sobre emisión de BTEX debidos a vehículos con gasolina y a vehículos de gasoil en ambos túneles han sido extraídos del artículo científico escrito por Sagebiel et al. (1996). Los datos sobre la metodología utilizada en ambos túneles y la descripción detallada de los mismos aparece descrita en el artículo científico publicado por Pierson et al. (1996). El túnel de Fort McHenry es el que presenta un mayor volumen de tráfico de los descritos en la Tabla 2.17. La principal diferencia entre la emisión de BTEX en ambos túneles parece ser debida a las diferentes dimensiones de estos y al volumen de tráfico que circula en su interior.

Los niveles de emisión de BTEX por vehículos que utilizan gasolina como combustible en el túnel de la Avda. Tres de Mayo están en el mismo orden de magnitud que los observados en el túnel de Gubrist, en el túnel de McHenry y en el túnel de Tuscarora Mountain. Como anteriormente se comentó, en el túnel de la Avda Tres de Mayo circulan principalmente vehículos ligeros (turismo, motocicletas, etc.) que utilizan como combustible la gasolina. Solamente los niveles de tolueno observados en el interior del túnel de la Avda Tres de Mayo son superiores a los registrados en estos experimentos. Los parecidos valores de BTEX excluyendo al tolueno pueden explicarse debidos al similar volumen de tráfico en el túnel de la Avda Tres de Mayo y en el túnel de Tuscarora Mountain, no existen datos para el túnel de Gubrist en 1993 pero atendiendo a las cifras de tráfico del año 2002, los valores que sin duda serían menores estarían dentro del mismo orden de magnitud que los dos túneles anteriores. Además de esta similitud en estos tres túneles existe un único sentido

de tráfico, existen sistemas de ventilación y las muestras se tomaron con canisters y utilizando la misma metodología.

El túnel de Tauern está localizado en la carretera A10 en Austria y une el tráfico de norte-sur entre Alemania e Italia. Es el túnel de mayor longitud (6400 m) y con 2 sentidos de tráfico en su interior de los descritos en la Tabla 2.17. En el experimento realizado en el túnel de Tauern en 1988 se observan los mayores niveles de emisión de BTEX. Este experimento se repitió en el año 1997 y según Schmid et al. (2001), las emisiones se han reducido considerablemente desde los años ochenta a los noventa. Casi una década de diferencia entre ambos experimentos dejan patente como al igual que en el estudio realizado por Lonnenman et al. (1974, 1986), en el túnel de Lincoln, la aparición de los catalizadores, de los nuevos controles post combustión en los motores de los vehículos y la aparición de vehículos más eficientes y de menor consumo de combustible han disminuido considerablemente las emisiones de COVs no metanizados a la atmósfera por el tráfico de vehículos por carretera. Este túnel que presenta los mayores niveles de concentración de BTEX en su atmósfera es el que tiene menos volumen de tráfico pero sin embargo consta de dos direcciones de circulación y es el de mayor longitud. Estas características pueden explicar el porque encontramos aquí las mayores concentraciones de BTEX de las estudiadas en el resto de los túneles.

El túnel de Taipei está localizado en la conexión de la carretera N°3 que discurre a través de la esquina suroeste de la gran área metropolitana de Taipei. Mide menos de un kilómetro y la velocidad media de los vehículos que circulan en su interior es de aproximadamente unos $67 \text{ Km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los niveles de emisión de BTEX medidos en el interior del túnel de Taipei son ligeramente inferiores a los registrados en nuestro estudio en el túnel de la Avda. Tres de Mayo en S/C de Tenerife a pesar de presentar similar longitud de túnel, una sola dirección de tráfico y la velocidad media a la que circulan los vehículos dentro del túnel tienen el mismo orden de magnitud. A estas características hay que agregar que el volumen de tráfico que soporta el túnel de Taipei es el doble que el registrado

en el túnel de la Avda Tres de Mayo. Porque las concentraciones son inferiores en dicho túnel, es posible que el sistema de ventilación el cual desconocemos si está presente esté influyendo.

En las Tablas 2.18 y 2.19 se muestran los datos de emisiones de COVs no metanizados obtenidos en el marco de este trabajo de investigación y de otros estudios realizados en otras zonas de nuestro país. Aunque estos datos no son datos empíricos obtenidos en experimentos en túneles como los expuestos anteriormente, y están basados en la utilización de modelos teóricos de emisión de contaminantes, si realizaremos una comparativa de los mismos con los datos de emisión obtenidos por nosotros y extrapolados al tráfico que circula por las principales arterias de circulación de la isla y al tráfico total que circulaba en la isla de Tenerife durante el los años 1998 y 2006.

En la Tabla 2.18 se muestra la fuente generadora de COVs no metanizados y las emisiones de los mismos en $t \cdot a^{-1}$, así como los datos de un estudio muy interesante denominado “Estrategia de movilidad en Madrid y reforma de la M-30” desarrollado por el Centro de Investigación del Transporte (TRANSYT) y que fue presentado en el I Congreso Internacional “Los ciudadanos y la Gestión de la Movilidad”. La emisión de COVs no metanizados por los vehículos que entran y salen de la ciudad de S/C de Tenerife es muy inferior a los registrados en otras áreas de estudio expuestas en la Tabla 2.18. Por el contrario, el tráfico que circula entre la ciudad de S/C de Tenerife y La Laguna genera una emisión de COVs no metanizados de $58 t \cdot a^{-1}$, siendo estos niveles de emisión comparables a los registrados en otras áreas del centro peninsular, como es el tráfico que circula en el anillo metropolitano de Madrid ($50 t \cdot a^{-1}$), en las carreteras periféricas de la capital ($44 t \cdot a^{-1}$) y en la CBD de Madrid ($42 t \cdot a^{-1}$). Los datos obtenidos en la isla son muy inferiores a los datos de emisión obtenidos en las grandes arterias viales de Madrid como son la M30 y la M40, con 119 y $145 t \cdot a^{-1}$, respectivamente.

Tabla 2.18. Datos del Centro de Investigación del Transporte (TRANSYT) (Pardeiro et al., 2006).

Fuente Generadora de COVs	COVs ($t \cdot a^{-1}$)
Tráfico que entra y sale de Santa Cruz	14
Trafico que circula entre S/C y La Laguna	58
Tráfico que circula en la CBD de Madrid	42
Tráfico que circula por las carreteras periféricas de Madrid	44
Tráfico que circula por el anillo Metropolitano de Madrid	50
Tráfico que circula por la M40	145
Tráfico que circula por la M30	119

En la tabla 2.19 se presentan las emisiones de COVs no metanizados a la atmósfera expresadas en $t \cdot d^{-1}$ por diferentes Comunidades Autónomas y calculadas según las tasas de emisión de tráfico medidas en días laborables. Los datos mostrados en esta tabla son datos publicados en el Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos desarrollado por Benoiston en 2006, en el Laboratorio de Modelización Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña. Este inventario de tráfico será integrado en el modelo de emisiones de contaminantes para la península ibérica HERMES (High Elective Resolution Modelling Emisión System). Si comparamos los datos de emisión de COVs no metanizados originados por el tráfico en la isla de Tenerife para los años 1998 y 2006 ($1,5 t \cdot d^{-1}$ y $2,1 t \cdot d^{-1}$, respectivamente), podemos observar que son muy inferiores a los estimados en la Comunidad de Cataluña ($121,4 t \cdot d^{-1}$), destacando la ciudad de Barcelona por aportar cerca del 20% de la emisión de COVs no metanizados a dicha comunidad. En la Comunidad Autónoma de Madrid se observan niveles de emisión similares ($90,8 t \cdot d^{-1}$), aportando el tráfico que circula en el centro de la ciudad un 37% de la emisión de COVs no metanizados en esta comunidad.

Tabla 2.19. Datos del Inventario de emisiones atmosféricas debidas al tráfico rodado en varias ciudades españolas, con alta resolución espacial y temporal, para su aplicación en modelos de calidad del aire (Benoiston 2006).

Fuente Generadora de COVs	COVs (t·d ⁻¹)
Trafico que circulaba en Tenerife en 1998	1,5
Trafico que circulaba en Tenerife en 2006	2,1
Tráfico que circula en Cataluña (Barcelona, Girona, Lleida y Tarragona) en 2004 en un día laborable	121,4
Tráfico que circula en Barcelona (es el 20% de la emisión de COVs de Cataluña) en 2004 en un día laborable	24,8
Tráfico que circula en la Madrid zona centro Albacete, Ávila, Badajoz, Burgos, Ciudad Real, Cuenca, Guadalajara, Madrid, Segovia, Soria, Teruel, Valladolid y Zaragoza) en 2004 en un día laborable	90,8
Tráfico que circula en Madrid (es el 37% de la emisión de COVs de Cataluña) en 2004 en un día laborable	33,5

Con estos datos podemos concluir que el tráfico en la isla de Tenerife es una importante fuente de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera. Los datos obtenidos de las medidas realizadas en el túnel de la Avda tres de Mayo han sido claves para la estimación de la emisión de dichos contaminantes orgánicos por el tráfico rodado de la isla de Tenerife y reafirma el hecho de que el uso de los túneles es un buen instrumento para estimar la emisión de COVs por parte del tráfico en ambientes urbanos.

2.4 Conclusiones

1) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales a la atmósfera por el tráfico de vehículos que entra y sale diariamente en S/C de Tenerife se ha estimado en 4,3/16,1/2,6/8,2/31,1/9,1/38,8/1,4 y 39,5 Kg·d⁻¹·Km, respectivamente.

1) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales emitidos a la atmósfera por el tráfico de vehículos que circulan diariamente entre Santa Cruz y La Laguna se ha estimado en 17, 65, 11, 33, 126, 37, 158, 6 y 60 Kg·d⁻¹, respectivamente.

2) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales a la atmósfera por el tráfico de vehículos que circulaba en la isla de Tenerife en 1998 ha sido estimada en 168,628, 101, 320, 1213, 355, 1514, 55 y 1541 Kg·d⁻¹, respectivamente.

3) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales a la atmósfera por el tráfico de vehículos que circulaba en la isla de Tenerife en 2006 ha sido estimada en 225, 842, 136, 429, 1627, 476, 2030, 73 y 2066 Kg·d⁻¹, respectivamente.

4) Se observa un aumento en la emisión de COV no metanizados por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife desde el año 1998 hasta el año 2006.

5) Los puntos de mayor emisión de COVs a la atmósfera en la isla de Tenerife debidos al tráfico rodado se localizan en; (a) Autopista TF1, entrada y salida al aeropuerto Reina Sofía, (b) Autopista TF1, incorporación de vehículos desde Arico, y (c) Autopista TF1, valle de Güimar, (d) Autopista TF1, área Candelaria-Caletillas donde se producían retenciones kilométricas debido a las obras de ampliación de dicha autopista, (e) Autopista TF5, entrada y salida al aeropuerto de los Rodeos y (f) Autopista TF5, municipio de la Matanza.

6) Al comparar los niveles de concentración promedio de BTEX medidos en el túnel de la Avda Tres de Mayo y en ensayos realizados en diferentes túneles se observa que los túneles de Lincoln y de Sangdo son los que presentan en los periodos de primavera mayores niveles de concentración de BTEX debidos al mayor volumen de tráfico que soportan.

7) Los niveles de emisión de BTEX en el túnel de la Avda Tres de Mayo están en el mismo orden de magnitud que los observados en el túnel de Gubrist (1993), en el túnel de McHenry y en el túnel de Tuscarora Mountain.

8) En el túnel de Tauern se observan los mayores niveles de emisión de BTEX, las dos direcciones de circulación y su longitud pudieran explicar estos mayores niveles de concentraciones de BTEX.

9) La emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por los vehículos que entran y salen de S/C de Tenerife ($14 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$) es muy inferior a las registradas en otras áreas de estudio de nuestro país.

10) El tráfico que circula entre S/C de Tenerife y La Laguna genera una emisión de COVs no metanizados de $58 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$, valor comparable a los estimados en otras zonas del centro peninsular como el tráfico que circula en el anillo metropolitano de Madrid ($50 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$), carreteras periféricas de la capital ($44 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$) y en la CBD de Madrid ($42 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$).

11) Los datos obtenidos en la isla de Tenerife son muy inferiores a los datos de emisión obtenidos en las grandes arterias viales de Madrid como son la M30 y la M40, con 119 y $145 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$.

12) Los datos de emisión de COVs no metanizados generados por el tráfico en la isla de Tenerife para los años 1998 y 2006 ($1,5 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ y $2,1 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$), son muy inferiores a los detectados en la Comunidad de Cataluña ($121,4 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$) y en la Comunidad Autónoma de Madrid ($90,8 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$).

Emisiones de
Compuestos
Orgánicos Volátiles
no metanizados a la
atmósfera por
vertederos en la Isla
de Tenerife



3.1 Introducción

3.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

3.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos en la isla de Tenerife

3.2.2 Medidas in-situ de la emisión de CO₂ a la atmósfera por vertederos en la isla de Tenerife

3.2.3 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

3.2.4 Análisis del biogas de vertedero por microcromatografía de gases

3.2.5 Tratamiento estadístico

3.3 Resultados y Discusión

3.3.1 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el vertedero de Arico

3.3.2 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto

3.3.3 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos

3.4 Conclusiones

3.1 Introducción

Históricamente los vertederos han sido la forma más sencilla de eliminar los residuos sólidos urbanos (RSU) con el mínimo coste directo, y han constituido el método ambiental más aceptado para la eliminación de residuos sólidos urbanos (RSU) en todo el mundo. A pesar de la reducción de residuos y de la existencia del reciclaje, los vertederos siguen siendo una buena estrategia para la gestión integral de los residuos sólidos. El aumento desmesurado de la población y el gran avance tecnológico experimentado en estas últimas décadas han derivado en el aumento y la diversificación de los residuos. Por lo tanto, la planificación y el diseño en la construcción de un vertedero son sumamente importantes para minimizar la producción de olores, debido principalmente a la degradación de la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos, el desarrollo de plagas de moscas, ratas u otras especies, y la generación de elementos contaminantes para el medio ambiente como son las emisiones de gases y lixiviados (Williams, 1985; Barry, 1986; Grollingen, 1987; Müller & Rettenberger, 1987).

Los vertederos son considerados auténticos reactores bioquímicos (Figura 3.1). La dinámica de todo sistema artificial depende de una serie de factores; en el caso de los vertederos, estos factores son el flujo y las características de los distintos elementos que se introducen y se generan en los vertederos (Cossu, 1997). El agua introducida a través de procesos naturales o artificiales, los residuos sólidos urbanos (RSU), y el aire atmosférico son los principales flujos de entrada para este biorreactor, mientras que los principales flujos de salida son los gases y los lixiviados que son agentes potencialmente contaminantes para el medio ambiente (Cossu, 1997).

Para minimizar el impacto sobre el Medio Ambiente se diseñan e instalan sistemas de control para estos agentes potencialmente contaminantes (Williams, 1985; Barry, 1986; Grollingen, 1987; Müller & Rettenberger, 1987). Sin embargo, estos sistemas no son siempre perfectos existiendo un porcentaje de estas emisiones que se fugan al medioambiente de forma “NO” controlada. En el

caso particular de los gases que generan los vertederos, las emisiones biogénicas “NO” controladas de gases a la atmósfera tienen lugar principalmente de forma difusa y dispersa a través de la superficie de los mismos (Figura 3.2). Todos los vertederos "controlados" deben disponer de instalaciones para el control de las emisiones contaminantes que incluyan: (1) un sistema de recogida y extracción de lixiviados, y (2) un sistema de extracción y recogida de gases.

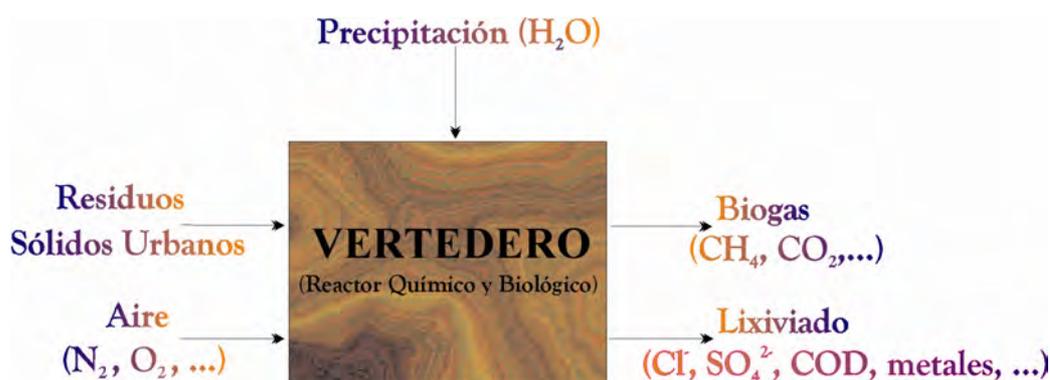


Figura 3.1.- Diagrama de flujo de los distintos componentes que intervienen en la dinámica de un vertedero considerado como un reactor bioquímico (Cossu, 1997).

El lixiviado es la fase líquida resultante de la descomposición de los residuos sólidos urbanos (Tchobanoglous et al., 1998). El objetivo de los sistemas de recogida y extracción de lixiviados es evitar que éstos lleguen al subsuelo y más concretamente a los acuíferos cuyos mecanismos de autopurificación son mínimos. Estos sistemas tratan de minimizar la filtración mediante sistemas de recubrimiento y sistemas de drenaje instalados bajo el vertedero para la captación de lixiviados.

Los sistemas de extracción y recogida de gases en el vertedero se emplean para prevenir explosiones como consecuencia de la reactividad química del metano (CH_4) y el movimiento indeseable de los gases hacia la atmósfera o el movimiento lateral a través del suelo circundante (Tchobanoglous et al., 1998). El gas de vertedero se conoce como biogás y está compuesto principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y una pequeña fracción de compuestos orgánicos no metanizados (NMOCs) (Farquhar et al, 1973; Gandolla et al.,

1981; Rettenberger, 1982; Johnson et al., 1982; Zimmerman et al., 1982; Caravanos & Shen, 1984; Pena, 1985; Zimmerman & Isaacson, 1988; Stegmann & Rettenberger, 1991; Reinhart, 1993; Chiampo et al., 1996; Eklund, et al., 1998).

Los componentes del biogás que se producen en el vertedero se generan debido a la descomposición anaeróbica de los componentes biodegradables de los RSU (Nyns, 1986; Pauss et al., 1987). El proceso de degradación es relativamente complejo y está controlado por ciertas variables físico-químicas y microbiológicas tales como el porcentaje de humedad de los RSU, la granulometría de los mismos, el flujo de agua, pH del medio, temperatura, así como la presencia y distribución de microorganismos entre otros (Schobert, 1978; Large, 1983; Reinhart, 1993; EPA, 1995; Gurijala et al, 1997; Barlaz, 1997; Manna et al, 1999; Boone, 2000; Thorneloe et al, 2000).

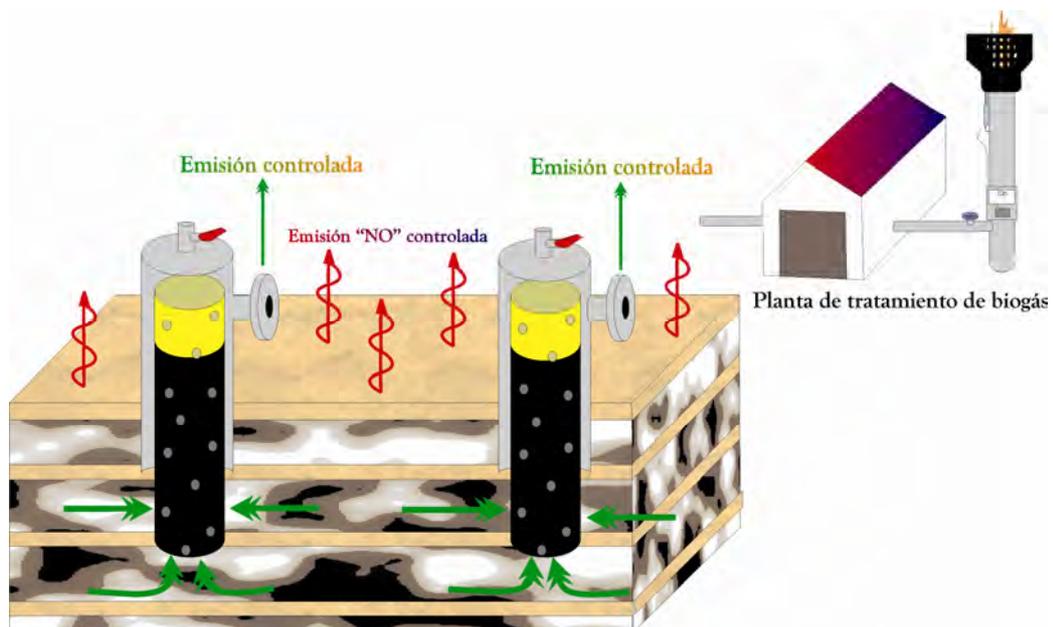


Figura 3.2.- Diagrama del sistema de control de gases de un vertedero y flujo de emisión controlada y "NO" controlada de un vertedero.

El proceso de degradación de la materia orgánica consta esencialmente de tres fases: (1) hidrolítica, (2) acidogénica y (3) metanogénicas (Schobert, 1978). La primera etapa o fase hidrolítica se caracteriza por desarrollarse en medios de

acidez moderada, con pH comprendidos entre 5,0 y 6,0 (Schobert, 1978). En esta fase tiene lugar la fragmentación de compuestos de elevado peso molecular (lípidos, proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos) en moléculas más sencillas (ácidos grasos, aminoácidos, glucosa, etc.) (Rettenberger, 1978, 1979, 1982, 1984, 1986; Zimmerman et al., 1982; Zimmerman & Isaacson, 1988). Esta etapa es llevada a cabo por diversos agentes microbianos que utilizan sus enzimas hidrolasas para catalizar la hidrólisis de macromoléculas en moléculas más sencillas aptas para ser utilizadas como fuentes de energía y carbono celular (Rettenberger, 1978, 1979, 1982, 1984, 1986; Zimmerman et al., 1982; Zimmerman & Isaacson, 1988). La fase hidrolítica tiene lugar en un ambiente principalmente aeróbico, aunque una vez depositado sobre los residuos la pertinente cobertera mineral, los niveles de oxígeno (O_2) empiezan a disminuir volviéndose el medio paulatinamente anaerobio (Rettenberger, 1978, 1979, 1982, 1984, 1986; Zimmerman et al., 1982; Zimmerman & Isaacson, 1988). De esta manera se favorece el desarrollo de microorganismos anaerobios facultativos característicos de la segunda etapa o fase acidogénica (Rettenberger, 1978, 1979, 1982, 1984, 1986; Zimmerman et al., 1982; Zimmerman & Isaacson, 1988). Esta segunda etapa se desarrolla en un rango de pH comprendido entre 6,5 y 7,0 e implica la transformación microbiana de los compuestos resultantes de la fase hidrolítica en compuestos de bajo peso molecular y de comportamiento ácido como son el ácido acético (CH_3COOH) y el ácido fúlvico ($HOOC-CHOH-CHOH-COOH$) entre otros, el sulfuro de hidrógeno (H_2S), y el ion amonio (NH_4^+) (Rettenberger, 1978, 1979, 1982, 1984, 1986; Zimmerman et al., 1982; Zimmerman & Isaacson, 1988). La tercera etapa o fase metanogénica se desarrolla en un rango de pH comprendido entre 7,5 y 8,0, y se caracteriza por la formación y liberación de biogás, en esta fase actúan principalmente una serie de microorganismos denominados bacterias metanógenas que liberan energía al convertir el CO_2 , el H_2 , el CH_3COOH , y otros compuestos en CH_4 (Rettenberger, 1978, 1979, 1982, 1984, 1986; Zimmerman et al., 1982; Zimmerman & Isaacson, 1988) (Figura 3.3).

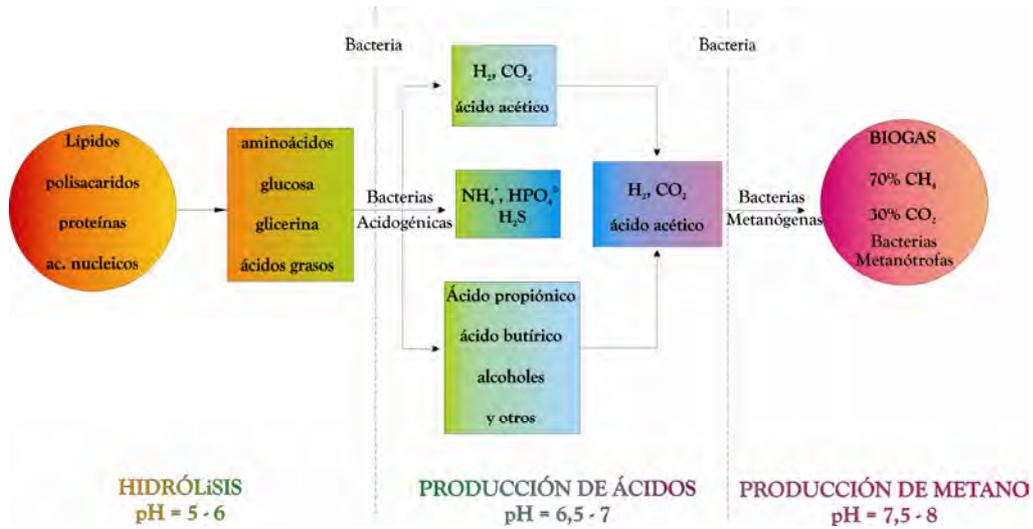


Figura 3.3.- Esquema de los procesos de degradación anaeróbica de la materia orgánica contenida en los RSU, que tiene lugar en un vertedero.

Numerosos autores han justificado que el biogás de vertedero, además de compuestos inorgánicos, contiene cantidades traza de numerosos compuestos orgánicos volátiles no metanizados (Young & Parker, 1983; Reinhart, 1993; EPA, 1994; Allen et al., 1997; Thomas & Barlaz, 1999; Dionis et al., 2003; Lima et al., 2003; Nolasco et al., 2002, 2005b, 2006b, 2008). Las emisiones de COVs no metanizados procedentes de vertederos son generadas a partir de dos fuentes u orígenes distintos: (a) la volatilización de los compuestos orgánicos contenidos en los residuos, y (b) la formación de COVs durante las distintas etapas de degradación y descomposición de los RSU (Thomas & Barlaz, 1999). Además de los efectos negativos que tienen sobre la atmósfera, las emisiones COVs no metanizados son las responsables junto con otros gases como el sulfuro de hidrógeno de los malos olores que se aprecian significativamente tanto en el vertedero como en sus alrededores.

3.2 Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos

3.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos en la isla de Tenerife

Uno de los objetivos de este trabajo de Tesis Doctoral es evaluar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera a través de la superficie de los

vertederos de forma no controlada. El vertedero de Arico y el vertedero de Lazareto son los vertederos escogidos para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos en la isla de Tenerife. El vertedero de Arico es un vertedero con una extensión de 45000 m², ubicado en la zona sur de Tenerife. El vertedero de Lazareto tiene una superficie de 122000 m² y está ubicado en la zona norte de la isla. Ambos vertederos presentan actualmente diferentes usos. Mientras que el vertedero de Lazareto lleva años clausurado, el vertedero de Arico ha estado operativo durante todo el periodo de estudio. El volumen y la naturaleza de los residuos que se han vertido en ambos vertederos son también muy diferentes. Todas estas características hacen interesante el estudio comparativo de la emisión de COVs no metanizados en ambos vertederos y el aporte de estos contaminantes a la atmósfera.

En el vertedero de Arico se han realizado dos campañas durante los veranos de 2004 y 2005 con 30 y 32 puntos de observación, respectivamente. Los puntos de muestreo han sido distribuidos uniformemente a lo largo de la cobertera mineral del vertedero. En el vertedero de Lazareto se ha materializado una campaña en 2005 de 188 puntos de observación distribuidos uniformemente a lo largo de toda el área de estudio. En cada campaña de muestreo se realizaron medidas de flujo difuso de CO₂ y se recolectaron muestras para su posterior análisis por cromatografía de gases MS/MS y por microcromatografía.

3.2.2 *Medidas in-situ de la emisión de CO₂ a la atmósfera por Vertederos*

En cada campaña se realizaron medidas de flujo difuso de CO₂ mediante el uso de sensores de infrarrojo no-dispersivo siguiendo el método de la cámara de acumulación (Parkinson, 1981; Baubron et al., 1991; Chiodini et al., 1998). Esta metodología denominada cámara de acumulación fue primeramente descrita por Parkinson (1981) y posteriormente adaptada a un equipo portátil para su utilización en zonas volcánicas e hidrotermales por Chiodini et al. (1998), posteriormente su uso se amplió a diferentes ambientes de estudio como los vertederos por Cardellini et al. (2003a), Nolasco et al. (2008) y Scozzari (2008).

El método de la cámara de acumulación es el método más apropiado para medir el flujo difuso de cualquier especie gaseosa debido a que no requiere realizar suposiciones o correcciones dependiendo de las características del suelo como fue comprobado por Tonami & Miele (1991). Si despreciamos las interacciones del gas emitido hacia la atmósfera y los fenómenos que pueden interferir en este procesos (Scheidegger, 1974), el flujo total representa la suma de los valores advectivos y difusivos.

Las medidas del flujo difuso de CO₂ se realizaron *in situ*, haciendo uso de un sensor doble de infrarrojo no-dispersivo modelo Licor 820 y Dräger Polytron, capaz de medir el flujo difuso de CO₂ y CH₄, respectivamente. Mediante el método de la cámara de acumulación se puede conocer el flujo difuso de CO₂ partir de la pendiente de la curva que se obtiene al representar la variación de la concentración de CO₂ que se acumula en el interior de la cámara de acumulación frente al tiempo.

La cámara de acumulación utilizada tiene una altura de 10 cm y una superficie de 300 cm². La medida del flujo difuso de CO₂ comienza cuando la parte abierta de la cámara de acumulación se coloca sobre la superficie del ambiente a medir. Normalmente los gases que son emitidos a través del horizonte edáfico del suelo se escapan a la atmósfera mediante difusión molecular. En el caso de los vertederos el gas sale del mismo mediante difusión y flujo convectivo, debido a que la presión interna en el interior del vertedero es mucho mayor que la presión atmosférica (Tchobanoglous, 1998). Si existe flujo de gas procedente del ambiente a medir se produce una acumulación del mismo en el interior de la cámara a medida que pasa el tiempo. Este gas que se va acumulando en el interior de la cámara de acumulación se hace circular gracias a una pequeña bomba en un circuito cerrado desde el detector de infrarrojo (IR) regresando de nuevo a la cámara. Para facilitar la homogenización del gas dentro de la cámara de acumulación esta presenta en su interior una pequeña hélice. Así mismo, entre la cámara y el detector de infrarrojo (IR) se coloca una trampa de Mg(ClO₄)₂ con el objeto de atrapar el vapor de agua proveniente del ambiente

a medir, evitando la interferencia analítica que esta produce en la medida de concentración de CO_2 y el daño que dicha concentración del agua produciría en la célula de IR. El gas que se va acumulando en la cámara es bombeado hacia el sensor de infrarrojo, que determina la concentración de CO_2 presente en el gas. Una vez determinada la concentración, el gas pasa nuevamente a la cámara de acumulación como anteriormente hemos descrito mediante un circuito cerrado. Haciendo uso de un ordenador portátil conectado al detector del sensor de infrarrojo a través de una interfase de conversión analógica-digital, se registra la concentración de CO_2 durante la medida (Figura 3.4) (Chiodini et al., 1996).

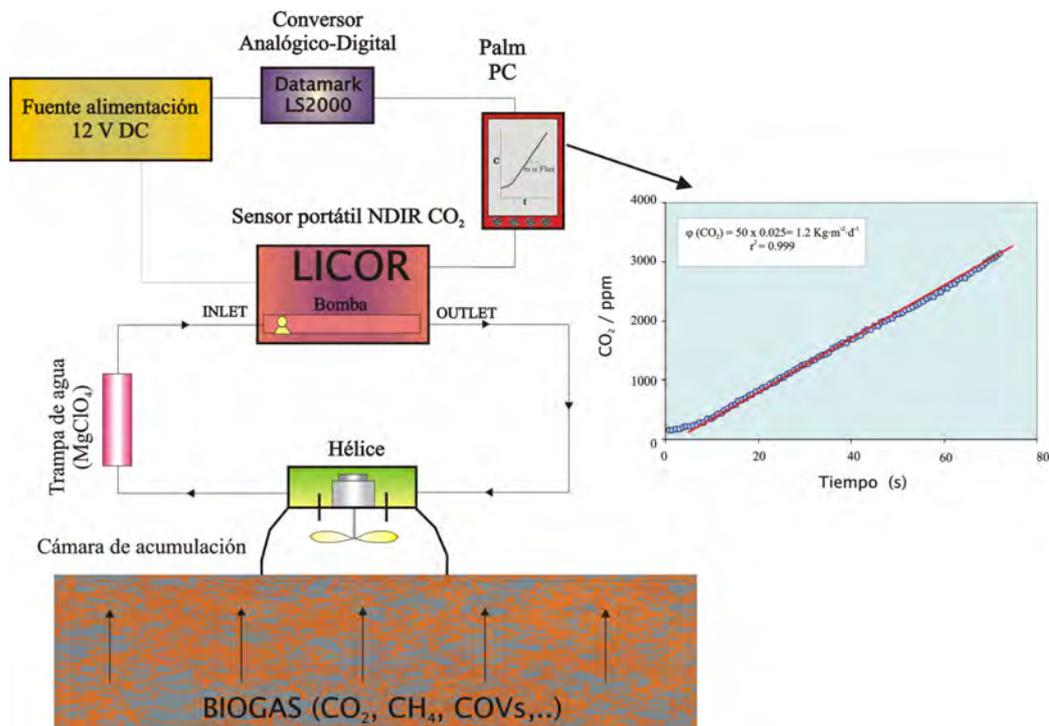


Figura 3.4.- Esquema del sistema de medida para la determinación *in situ* de la emisión biogénica No-controlada de biogás a través de la superficie del vertedero y obtención de la pendiente de la curva medida del flujo difuso de CO_2 .

El sensor de IR es calibrado en el laboratorio del ITER siempre antes de realizar las medidas de campo, mediante la utilización de nitrógeno puro para la calibración del cero y de un estándar de 20100 ppmVv para el fondo de escala (Figura 3.5).

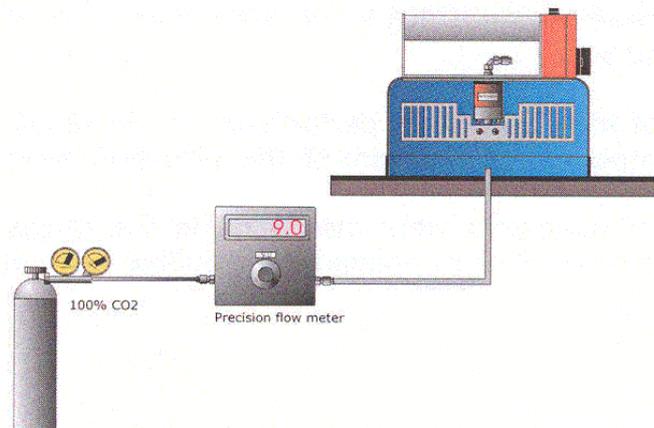


Figura 3.5.- Esquema del sistema calibración del sensor de IR mediante la utilización de un Standard certificado.

Durante el periodo de tiempo que transcurre desde el instante inicial hasta un instante determinado, el incremento de gas se produce de manera lineal, hasta que transcurrido un periodo suficientemente largo, el gas acumulado alcanza el equilibrio dinámico con el gas existente en el ambiente a medir (cobertera superficial del vertedero en este caso de estudio, flotando en los diferentes tanques de depuración del agua residual o desde propio suelo volcánico), obteniéndose una plataforma o zona estable en la curva de concentración de CO_2 *versus* tiempo. Cuando esto ocurre, la concentración dentro de la cámara experimenta una situación de equilibrio dinámico con el gas procedente del ambiente a medir. De esta manera se establece una relación lineal entre la pendiente calculada en la curva de acumulación CO_2 *versus* tiempo y el nivel de flujo difuso de CO_2 .

Con objeto de establecer el balance de masas en el interior de la cámara de acumulación, se considerará el volumen de control de geometría regular de la Figura 3.6. En esta, V (l), A (m^2) y H (m), son respectivamente, el volumen, el área abierta y la altura de la cámara de acumulación, mientras que ϕ_{input} representa el flujo volumétrico o caudal de gas que entra en la cámara procedente del ambiente a medir ($\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$), y ϕ_{output} representa el flujo

volumétrico o caudal de gases que sale de la cámara de acumulación hacia el suelo, C_{t+dt} y C_t representan la concentración de CO_2 ($\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) en el interior de la cámara en el momento t y en el momento $t+dt$ posterior a una cantidad infinitesimal dt . Por otra parte se definirá C_s como la cantidad de CO_2 ($\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$) presente en el gas procedente del ambiente a medir y que se supone constante al menos durante la medida.

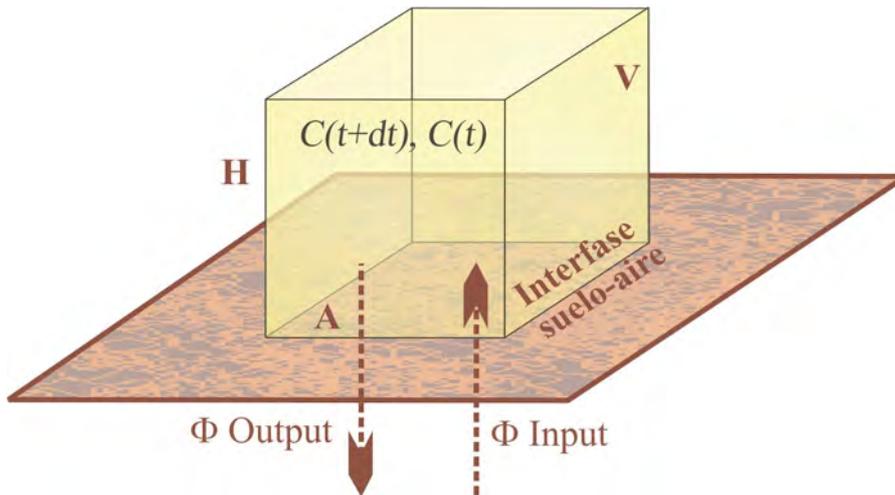


Figura 3.6. Esquema idealizado de la cámara de acumulación, volumen de control de geometría regular.

El balance de masas en el interior del volumen control viene expresado por la siguiente ecuación diferencial:

$$V \cdot C_{t+dt} = V \cdot C_t + \phi_{in} \cdot A \cdot C_s \cdot dt - \phi_{out} \cdot A \cdot C_t \cdot dt \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Considerando una cámara cilíndrica, tenemos que:

$$V = A \cdot H \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Si dividimos la ecuación 3.1 por A , que se extrae de la ecuación 3.2, y reorganizamos los términos, obtenemos:

$$C_{t+dt} - C_t = \left(\frac{1}{H} \right) \cdot [\phi_{in} \cdot C_s - \phi_{out} \cdot C_t] \cdot dt = dC(t) \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Un requisito importante es la ausencia de sobrepresión en el interior de la cámara de acumulación, de manera que se garantice que, en cada momento de la

medida, el número de moles que salgan y entren sea el mismo, cumpliéndose que

$$\phi_{in} = \phi_{out} = \phi \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Para que no exista sobrepresión la cámara de acumulación presenta un pequeño orificio para compensar la presión entre su interior y el exterior. De modo que, se puede reescribir la ecuación anterior como,

$$\frac{dC(t)}{dt} - \frac{\phi}{H} \cdot [C_s - C_i] = 0 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

que es una ecuación diferencial lineal de primer orden cuya solución para los límites de integración C_a (concentración de CO_2 en el aire) y C_s (concentración de CO_2 en el gas procedente del ambiente a medir) es:

$$C(t) = C_s + (C_a - C_s) \cdot \exp\left(-\frac{\phi}{H} \cdot t\right) \quad \text{Ecuación 3.6}$$

En la práctica sólo se registra una proporción de la curva $C(t)$ versus t . Con objeto de estudiar la pendiente en los primeros momentos de la medida, ya que la pendiente de esta curva en los momentos iniciales es proporcional al flujo de gas desde el suelo hacia la cámara, aplicamos la primera derivada a la ecuación 3.6, lo que nos conduce a:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{\phi}{H} (C_s - C_a) \cdot \exp\left(-\frac{\phi}{H} \cdot t\right) \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Teniendo en cuenta el límite de la expresión 3.7 cuando el tiempo tiende a cero,

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left[\frac{dC(t)}{dt} \right] = \frac{\phi}{H} \cdot (C_s - C_a) \lim_{t \rightarrow 0} \left\{ \exp\left[-\frac{\phi}{H} \cdot t\right] \right\} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

El término exponencial de la ecuación 3.7 puede aproximarse mediante un polinomio de aproximación de MacLaurin simple en,

$$\exp(-at) = 1 - \frac{a \cdot t}{1!} + \left(\frac{a \cdot t}{2!}\right)^2 + \left(\frac{a \cdot t}{3!}\right)^3 + \dots \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Considerando la aproximación del polinomio de MacLaurin de primer orden en el polinomio (ecuación 3.9), la ecuación 3.7 puede reducirse a

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left[\frac{dC(t)}{dt} \right] \equiv \frac{\Delta C}{\Delta t} \approx \frac{(C_s - C_a)}{H} \cdot \phi \quad \text{Ecuación 3.10}$$

donde $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ es la pendiente de la curva, de modo que la expresión general para la estimación del flujo del gas

$$\phi \approx \frac{H}{(C_s - C_a)} \cdot [\text{pendiente}]_{t \rightarrow 0} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Esta expresión se puede simplificarse si consideramos; (1) que $C_s \gg C_a$, esto se observa comúnmente en áreas volcánicas y geotermales, y (2) que $\phi \cdot C_s = \phi_{CO_2, \text{suelo}}$ expresado en $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, la ecuación 3.11 puede expresarse como:

$$\phi_{CO_2, \text{suelo}} \approx H \cdot [\text{pendiente}]_{t \rightarrow 0} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

La ecuación 3.12 expresa la relación de proporcionalidad existente entre la pendiente de la curva $C(t)$ versus t calculada cuando el tiempo tiende a cero, es decir, en los momentos iniciales de la acumulación del gas en el interior de la cámara. La pendiente calculada en la curva de acumulación de CO_2 frente al tiempo, se expresa en unidades de $\text{ppmV} \cdot \text{s}^{-1}$. Sin embargo, con el fin de evitar la dependencia de esta magnitud con las condiciones de presión y temperatura durante la medida, la pendiente se expresa en unidades de masa. Atendiendo a la ecuación 3.12, se verifica que la constante K , también denominada constante de la cámara de acumulación, ya que depende de la geometría de la misma, establece la relación de dimensiones entre el flujo másico ϕ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) y el flujo volumétrico observado durante la medida ($\text{ppmV} \cdot \text{s}^{-1}$). Por tanto, la constante K se puede calcular mediante la transformación de las unidades ppmV a $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, a través de la ecuación:

$$\phi (\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}) = \left(\frac{\text{ppmv}}{\text{s}}\right) \cdot \left(\frac{84600\text{s}}{1\text{d}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{ml}/1\text{m}^3}{1\text{ppmv}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{l}}{1000\text{ml}}\right) \cdot \left(\frac{V(\text{m}^3)}{A(\text{m}^2)}\right) \cdot Z \quad \text{Ecuación 3.13}$$

donde: V y A son respectivamente, el volumen y área de la cámara, y Z viene dado por la expresión:

$$Z = \frac{M_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{atm}}}{R(\text{atm}\cdot\text{l}/\text{mol})\cdot K} \quad \text{Ecuación 3.14}$$

donde M_{CO_2} es el peso molecular del CO_2 , P es la presión atmosférica en atmósferas, R es la constante de los gases ($0,082 \text{ atm}\cdot\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) y T es la temperatura absoluta en grados Kelvin, Sustituyendo los valores de $P=1 \text{ atm}$, $R=0,082$, $M_{\text{CO}_2} = 44\text{g}/\text{mol}$, $V=0,003 \text{ m}^3$ y $A=0,03 \text{ m}^2$, se obtiene:

$$\left(\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\right) = 14 \cdot \left(\frac{\text{ppmv}}{\text{s}}\right) = K_{\text{PTS}} \cdot \left(\frac{\text{ppmv}}{\text{s}}\right) \quad \text{Ecuación 3.15}$$

donde K_{PTS} hace referencia a la constante de la cámara de acumulación calculada para las condiciones de presión y temperatura estándares (1 atm y $298,15\text{K}$).

Para corregir el valor de la constante de la cámara de acumulación en función de la presión y la temperatura registrada en el punto de medida, se aplica la ley de Boyle-Mariot para los gases ideales, de modo que el valor absoluto de la constante de la cámara de acumulación corregida en función de temperatura y presión, puede obtenerse a partir de la ecuación 3.16.

$$K_{\text{corr}}(P, T)_{V, A=\text{ctes}} = K_{\text{PTS}} \cdot \left(\frac{P_{\text{medida}}}{P_{\text{referencia}}}\right) \cdot \left(\frac{T_{\text{referencia}}}{T_{\text{medida}}}\right) \quad \text{Ecuación 3.16}$$

Donde P_{medida} y T_{medida} son respectivamente la presión y la temperatura medidas en el punto de toma de muestra, y $P_{\text{referencia}}$ y $T_{\text{referencia}}$ son la presión y temperatura a las que se calcula la constante K_{PTS} ($P=1\text{atm}$ y $T=298,15$),

Como la constante de la cámara depende fundamentalmente de la presión y temperatura donde se realicen las medidas y de la dimensiones de la

cámara como ya hemos descrito, para el tipo de cámara que nosotros hemos utilizado estos valores están tabulados y vienen dados en la Tabla 3.1. La cámara que utilizamos en los estudios realizados en los vertederos de Arico y Lazareto (también ha sido utilizada en otros estudios realizados en depuradoras y en el volcán Teide) tiene una altura de 9,1 cm y un diámetro de 19,75 cm.

Tabla 3.1. Constante de la cámara de acumulación en función de la temperatura y presión (dimensiones de la cámara utilizada 9,1 cm de alto y 19,75 cm de diámetro)

Temperatura (°C)									
Elevación (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	Presión (mBar)
0	15,3	15,0	14,7	14,5	14,2	14,0	13,8	13,5	1013
500	14,4	14,1	13,9	13,6	13,4	13,2	13,0	12,8	954
1000	13,6	13,3	13,1	12,9	12,6	12,4	12,2	12,0	899
1250	13,2	12,9	12,7	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	873
1500	12,8	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,5	11,3	848
1750	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6	11,4	11,2	11,0	823
200	12,0	11,8	11,6	11,4	11,2	11,0	10,8	10,7	799
2250	11,7	11,5	11,3	11,1	10,9	10,7	10,5	10,4	776
2500	11,3	11,1	10,9	10,8	10,6	10,4	10,2	10,1	753
2750	11,0	10,8	10,6	10,4	10,3	10,1	9,9	9,8	731
3000	10,7	10,5	10,3	10,1	10,0	9,8	9,6	9,5	710
3250	10,4	10,2	10,0	9,8	9,7	9,5	9,4	9,2	689
3500	10,1	9,9	9,7	9,6	9,4	9,2	9,1	8,9	669
3750	9,8	9,6	9,4	9,3	9,1	9,0	8,8	8,7	649
4000	9,5	9,3	9,2	9,0	8,9	8,7	8,6	8,4	630

La altura media a la que se han realizado las campañas en el vertedero de Arico y Lazareto han sido a una altura de 0m s.n.m (para las campañas realizadas en la depuradora se toma 0m s.n.m como referencia y para la campaña realizada en el volcán Teide ha sido a una altura de 3500m s.n.m). Si tomamos esta altura como referencia, la constante de la cámara de acumulación en función de la temperatura ambiente vendrá dada por la ecuación que se muestra en las siguientes figuras; Figura 3.7 para el vertedero de Arico y Lazareto.

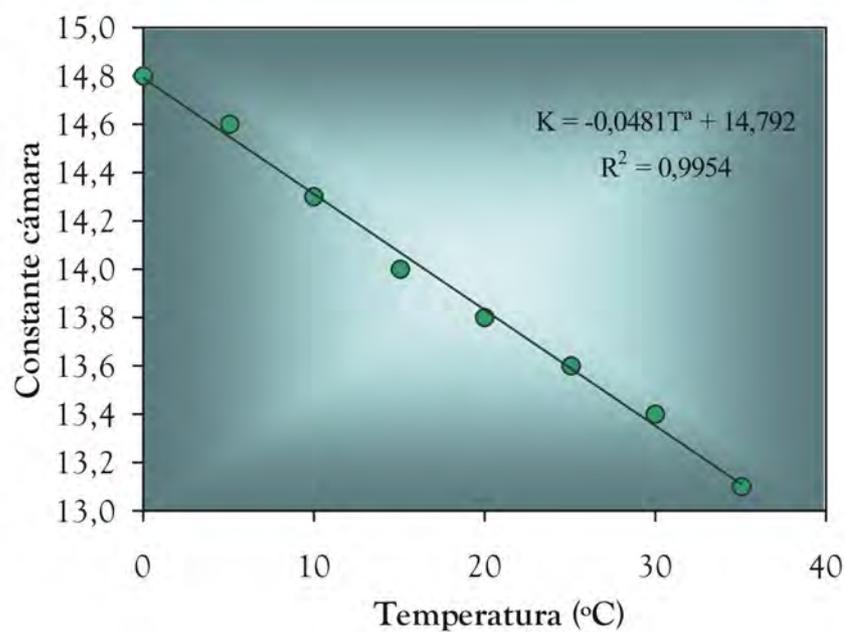


Figura 3.7.- Representación gráfica de la dependencia de la constante de la cámara de acumulación con la temperatura a 0 m, vertedero de Arico y Lazareto.

El cálculo de la constante de la cámara de acumulación también puede verificarse experimentalmente a escala de laboratorio, realizando el experimento que se describe a continuación. Se acopla una bala de CO₂ puro a un recipiente que contiene suelo sintético homogéneo y relativamente poros. El flujo de CO₂ sobre la superficie se simula mediante inyección de un caudal conocido en gas en el interior de la cámara, caudal conocido en todo momento gracias a un controlador digital de caudal másico que se acopla a la salida de la bala de CO₂.

El flujo másico inyectado en el suelo artificial, ϕ , expresado en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, se calcula a partir de la ecuación 3.17:

$$\phi = q \cdot \left(\frac{C_{CO_2}}{100} \right) \cdot \left(\frac{1}{1000 \text{cm}^3} \right) \cdot \left(\frac{1440 \text{min}}{1 \text{d}} \right) \cdot \left(\frac{1}{A(\text{m}^2)} \right) \cdot Z \quad \text{Ecuación 3.17}$$

Donde q representa el caudal de gas de calibración inyectado (cm^3/min), C_{CO_2} representa la concentración del CO_2 en el gas de calibración, expresado en porcentaje, A representa el área de la cámara de acumulación (m^2) y Z es la constante definida en la ecuación 3.14.

A continuación, se seleccionan un rango de caudales, y se registra para cada uno de ellos, la curva de concentración de CO_2 versus tiempo. En cada una de las curvas obtenidas y correspondientes a cada caudal, se calcula la pendiente en los momentos iniciales. Seguidamente se representan gráficamente las pendientes obtenidas versus los flujos calculados a partir de la ecuación 3.17. Mediante regresión lineal por mínimos cuadrados se estima la constante de la cámara de acumulación. La calibración realizada en laboratorio, mediante este experimento, difiere con los valores teóricos en un 10%, por lo que se asumen los valores teóricos en todas las medidas de flujo difuso realizadas.

Para estimar la emisión de cada uno de los COVs no metanizados presentes en el biogas del vertedero, se multiplica el flujo difuso de CO_2 (ϕ_{CO_2}) por la relación molar entre la especie volátil “i” y el CO_2 , y por la relación de sus respectivos pesos moleculares en cada punto de medida.

$$\phi_i = \phi_{CO_2} \cdot \left(\frac{C_i}{C_{CO_2}} \right) \cdot \left(\frac{PM_i}{PM_{CO_2}} \right) \quad \text{Ecuación 3.18}$$

Las concentraciones de COVs no metanizados son determinadas mediante un cromatógrafo de gases con un detector de ionización de llama modelo VARIAN 3800 y un GC/MS/MS modelo VARIAN Saturn 2000 anteriormente descrito y las concentraciones de CO_2 son determinadas mediante el uso de un micro-cromatógrafo de gases de cuatro canales modelo VARIAN Quad CP2003.

3.2.3 Toma de Muestras y Análisis COVs no metanizados

Para realizar el muestreo, utilizamos la cámara de acumulación que se coloca en la cobertura mineral del vertedero y que presenta un orificio que atraviesa la cámara y que va sellado con un septum (Figura 3.8). En cada punto de observación del vertedero se recogió una muestra de gas de la cobertera mineral. Con la ayuda de una aguja que perfora dicho septum, se toman 400 cc de biogas de la cobertera mineral del vertedero. Los canisters así llenados, se trasladan al laboratorio del ITER, donde se procede a su análisis (descrito en los apartados 2.2.2 y 2.2.3).



Figura 3.8.- Esquema del sistema de toma de muestra desde el interior de la cámara de acumulación y fotografía de una medida de flujo en la cobertera superficial del vertedero de Lazareto mediante el uso de NDIR (sensor de infrarrojo no dispersivo).

3.2.4 Análisis del biogas del Vertedero por microcromatografía de gases

Para determinar las concentraciones de CO_2 realizamos la toma de muestra del biogas del vertedero mediante la utilización de vacutainers de 10 cc de capacidad. Al igual que para la toma de muestras de COVs no metanizados utilizamos la cámara de acumulación, que se coloca en la cobertura superficial del vertedero y a través del orificio sellado con el septum extraemos el “biogas”, haciendo uso de una jeringuilla hipodérmica. Con la jeringuilla se procede a la extracción de “biogas”, desechando siempre la primera extracción realizada con el fin de minimizar la contaminación atmosférica en la toma de muestras (Figura 3.9 [1] y [2]). Las muestras de biogas se recogen en una segunda extracción

(Figura 3.9 [3]) y se introducen en vacutainers de 10 cc de capacidad mediante la técnica de desplazamiento del agua destilada que ocupa el interior del vacutainer evitando así la posible contaminación atmosférica (Figura 3.9 [4]) (Hinkle & Kilburn, 1979). Esta técnica analítica ha sido usada previamente por otros autores en estudios de prospección geoquímica de gases en suelos (Galindo, 2006; Melián, 2008; Padrón, 2008)

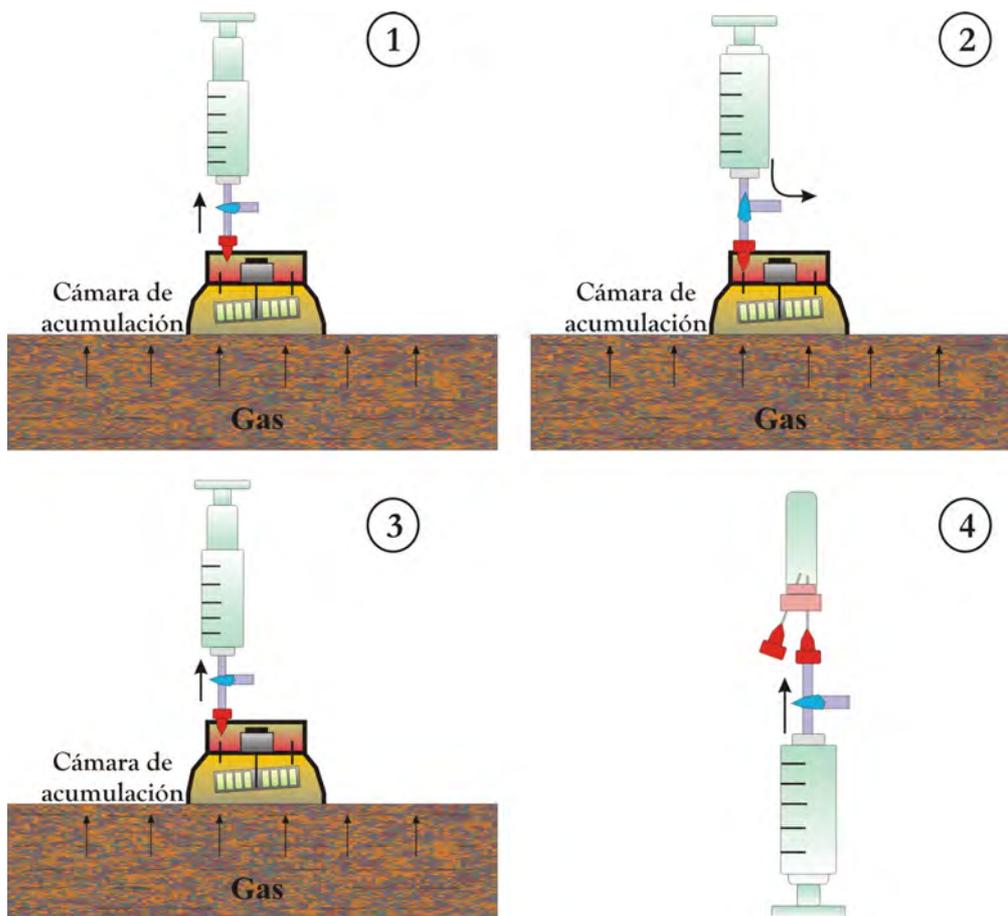


Figura 3.9.- Esquema de la toma de muestra de biogás mediante el uso de vacutainers mediante la técnica de desplazamiento del agua destilada desarrollada por Hinkle & Kilburn, 1979.

Una vez realizado el muestreo de gases, las muestras son trasladadas al laboratorio del ITER para ser analizadas dentro de un plazo de 24 horas mediante el uso un micro-cromatógrafo de gases de cuatro canales modelo VARIAN Quad CP2003P con el fin de caracterizar la composición química del “biogás” o “gas” del área estudiada (Figura 3.10). Las determinaciones de H_2 , N_2

y O₂ se realizan utilizando una columna Molsieve 5 A de alta resolución de 20 metros a 60°C, un detector de conductividad y argón como gas portador. Las medidas de CH₄ y CO₂ se realizaron utilizando una columna Poraplot Q de 10 metros a 40°C, un detector de conductividad térmica y helio como gas portador. La concentración de CO se mide utilizando una columna Molsieve 5 A de 10 metros a 100°C, con un detector de conductividad térmica y helio como gas portador, y la concentración de los hidrocarburos ligeros C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, C₅H₁₂, C₆H₁₄, se cuantifica con el uso de una columna Cpsil a 50°C, un detector de conductividad térmica y helio como gas portador.

Micro-cromatógrafo de gases

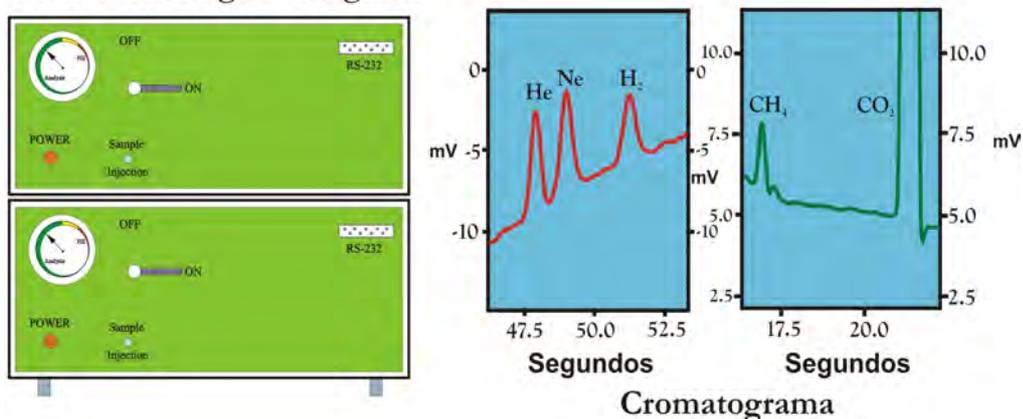


Figura 3.10.- Diagrama del micro-cromatógrafo de gases de cuatro canales modelo VARIAN Quad CP2003P empleado en la determinación de la composición química del “biogas” o “gas” del área estudiada.

Para la calibración del micro-cromatógrafo de gases se utilizaban estándares de gases certificados suministrados por la compañía Radicansa, cuya composición se detalla a continuación:

- Estándar 1: Aire atmosférico (7.5 ppmV Ne, 0.5 ppmV H₂, 355 ppmV CO₂, 1.5 ppmV CH₂, 21% O₂ y 79% N₂).
- Estándar 2 (1700 ppmV CO₂ y Balance de N₂).
- Estándar 3 (2% CO₂ y Balance de N₂).
- Estándar 4 (5% CO₂, 5% CH₄ y Balance de N₂)
- Estándar 5 (25% CO₂, 25% CH₄ y Balance de N₂).

- Estándar 6 (30% CO₂, 10% O₂, 0.9% Ar, 1000 ppmV CH₄, 7.5 ppmV Kr y 7.5 ppmV He y Balance N₂).
- Estándar 7 (50% CO₂, 18% O₂, 1500 ppmV H₂, 500 ppmV CH₄, 500 ppmV H₂S, 20 ppmV He, 20 ppmV Ne y Balance N₂).
- Estándar 8 (20 ppmV de C₂H₆, 20 ppmV de C₃H₈, 20 ppmV de C₄H₁₀, 20 ppmV de C₅H₁₂, 20 ppmV de C₆H₁₄ y Balance N₂).
- Estándar 9 (100 ppmV CO y Balance N₂).

Con los datos de emisión de cada uno de los COVs no metanizados estudiados, se procede a la elaboración de mapas de distribución espacial. Se realizan mapas de contorno mediante el programa GSLib (Deutsch & Journel, 1998) haciendo uso del Kriging como método de interpolación, esta información es tratada más ampliamente en el siguiente punto.

3.2.5 Tratamiento Estadístico

La aplicación de la geoestadística y el empleo de distintos programas informáticos han supuesto un gran avance en el análisis de las distribuciones espaciales de las variables naturales. En general las variables naturales presentan una heterogeneidad espacial, pero esto no implica que sea posible encontrar un patrón de distribución espacial de las mismas. Como se ha descrito en el Capítulo 1, varios de los objetivos específicos de este trabajo de tesis doctoral era cuantificar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por vertederos, depuradoras y por el volcán Teide. Para cuantificar esta emisión se representa en el espacio el valor de cualquiera de las variables medidas, tanto in-situ como en el laboratorio de forma que se obtienen mapas de estimación de dicha variable a lo largo de toda el área de estudio. Se obtuvieron mapas de distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada (desgasificación difusa en el caso de estudio de volcanes) de cada una de las especies estudiadas. Para ello es necesario interpolar un valor de la variable en cuestión en todos los puntos del área de estudio donde dicha variable no fue medida. El método de interpolación utilizado para la realización de los mapas que se presentan en esta Tesis Doctoral

es el denominado “Simulación Gausiana Secuencial”, ó “Sequential Gaussian Simulation” (SGS en adelante). El algoritmo del SGS se encuentra en un conjunto de programas geoestadísticos desarrollados en la Universidad de Stanford hace unos 20 años, y fue presentado bajo el acrónimo GSLIB (Geostatistical Software LIBrary). El GSLIB fue publicado posteriormente por Deutsch & Journel, (1998) como método de interpolación. Posteriormente, Cardellini et al. (2003b) demostró su aplicación exitosa para la realización de mapas de distribución espacial de la emisión difusa y la cuantificación de la emisión total de cualquier especie gaseosa.

La geoestadística se ha convertido en una herramienta muy útil para la elaboración de estos mapas de distribución espacial y nos permite analizar los patrones de distribución de una variable en una zona a partir de los muestreos realizados. Gracias a esta herramienta podemos realizar la mejor interpolación posible en lugares no muestreados. En la geoestadística la mayor parte de la información relacionada con un lugar en el que no se ha medido $z(u)$, procede de los valores de la variable medida en los lugares cercanos u' , ya sean definidos en la misma variable z en algún atributo relacionado y . Por esta razón es importante modelizar el grado de correlación o dependencia entre cualquier valor de la variable aleatoria $Z(u)$, $Z(u_\alpha)$, $\alpha=1, \dots, n$. El concepto de función aleatoria permite esta modelización y convertir las funciones de distribución acumulativa en funciones de distribución condicional.

Tradicionalmente los métodos de interpolación utilizados, como por ejemplo Kriging, tienen como resultado una versión suavizada de la distribución espacial de la variable, muy útil para visualizar tendencias espaciales, pero inapropiada para la estimación de flujos, donde los valores extremos son muy importantes. Además, no proporcionan una estimación de la incertidumbre de la interpolación. Por el contrario, la Simulación Gausiana reproduce fielmente el histograma original, mantiene la variabilidad espacial (variograma) de la variable y permite una estimación de la incertidumbre de la interpolación. Este último punto es muy útil para la correcta estimación de flujos mediante mapas de

interpolación. El SGS opera considerando un atributo como el valor de una función Gaussiana aleatoria, estacionaria y multivariable. Los valores del atributo son simulados en lugares previamente definidos por una malla que cubre toda el área de interés. La simulación es condicional y secuencial, es decir, la variable es simulada en cada punto donde no fue medida por un muestreo aleatorio de la función de distribución acumulativa Gaussiana definida previamente mediante los datos originales y los datos que ya han sido simulados anteriormente en los alrededores del punto a simular.

Simulación Secuencial:

Consideremos la distribución de N variables aleatorias Z_i . Las N variables aleatorias Z_i pueden representar el mismo atributo en los N nodos de una malla que cubra toda el área A , o pueden representar N diferentes atributos medidos en el mismo lugar, o podrían representar la combinación de K atributos diferentes definidos en los N' nodos de la malla, siendo $N = K \cdot N'$. Si consideramos el condicionamiento de estas variables aleatorias definido por un conjunto de datos n simbolizados por la notación $|(n)$, la correspondiente función de distribución condicional es:

$$F_{(N)}(z_1, \dots, z_N | (n)) = \text{Prob}\{Z_i \leq z_i, i = 1, \dots, N | (n)\} \quad \text{Ecuación 3.19}$$

La expresión anterior es completamente general. El procedimiento constaría de los siguientes pasos:

- Establecer un valor z_1 desde la función de distribución condicional de Z_1 de los datos originales (n) . El valor z_1 se considera ahora como un nuevo dato condicionante de todas las siguientes interpolaciones. De esta forma, el conjunto de información (n) es actualizado a $(n+1) = (n) \cup \{Z_1 = z_1\}$.

- Establecer un valor z_2 desde la función de distribución condicional de Z_2 de los datos originales $(n+1)$, y actualización del conjunto de información a $(n+2) = (n+1) \cup \{Z_2 = z_2\}$.

- Considerar secuencialmente todas las N variables aleatorias Z_i .

La simulación secuencial necesita la determinación de N funciones de distribución condicional:

$$\text{Prob}\{Z_1 \leq z_1 | (n)\}$$

$$\text{Prob}\{Z_2 \leq z_2 | (n+1)\}$$

$$\text{Prob}\{Z_3 \leq z_3 | (n+2)\}$$

..

$$\text{Prob}\{Z_N \leq z_N | (n+N-1)\} \quad \text{Ecuación 3.20}$$

El principio de simulación secuencial es independiente del algoritmo o modelo utilizado para establecer la secuencia de la función de distribución condicional. En el programa GSLIB, todas las funciones de distribución condicional se consideran como Gaussianas y se obtienen directamente mediante el indicador Krigging simple.

Simulación Gaussiana Secuencial:

La Simulación Gaussiana Secuencial (SGS) opera siguiendo los siguientes pasos:

1) Determinar la función de distribución acumulativa $F_z(z)$ que representa la totalidad del área de estudio y no sólo los z datos originales disponibles.

2) Debido a que el SGS trabaja con una distribución multigaussiana, lo cual implica que el histograma de la variable original obedezca una distribución Gaussiana, los datos originales deben ser transformados previamente en una distribución normal utilizando la $F_z(z)$ de los z datos originales. Esta transformación se realiza asignando previamente un valor (normal score) a la variable original. La Figura 3.11 muestra de forma esquemática en qué consiste esta transformación: los datos originales se representan en un diagrama de probabilidad acumulada en escala normal, y se le asigna un factor previa construcción de una función de transformación. Esta función se construye de forma que la media de los datos transformados (50% de probabilidad en la

escala de probabilidad acumulada) sea representada por cero, y la desviación estándar de los mismos (que es proporcional a la pendiente de la recta) sea igual a 1.

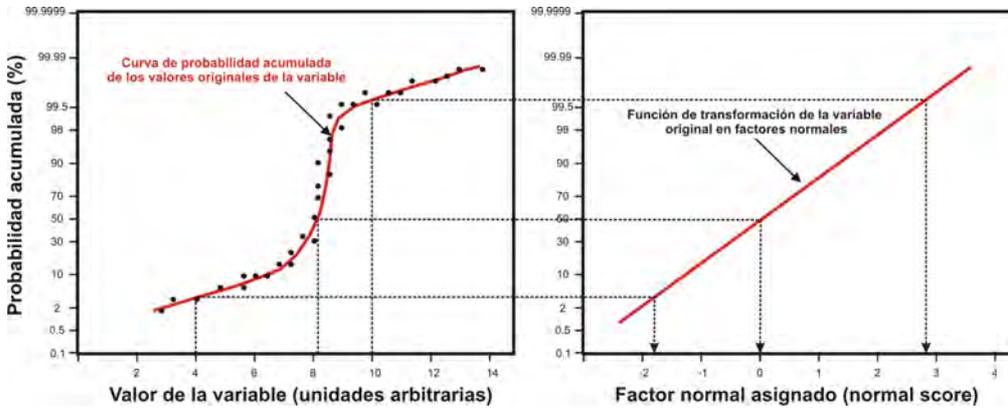


Figura 3.11.- Esquema de la transformación de los datos originales en factores normales o “normal scores”.

- 3) Comprobar la normalidad de los datos y transformados.
- 4) Asignar un modelo de variograma que describa fielmente la variabilidad espacial de los datos y transformados.
- 5) Definir un camino aleatorio (no debe ser necesariamente regular) que recorra la totalidad de la malla del área de estudio. En cada nodo u de la malla, especificar un número de datos en los alrededores que incluyen el dato y original, además de los nodos simulados previamente.
- 6) Utilizar el estimador Krigging simple con el modelo de variograma para determinar los parámetros (valor medio y varianza) de la de la variable aleatoria $Y(u)$.
- 7) Establecer el valor simulado $y(u)$ a partir de la función de distribución condicional.
- 8) Proceder de la misma forma en el siguiente nodo y continuar hasta que todos los nodos hayan sido simulados. Es importante puntualizar que los valores originales serán movidos hasta el nodo más cercano. Por esta razón no es conveniente definir una malla con distancia entre nodos muy grande.

9) Transformación inversa de los valores simulados $\{y(u), u \in A\}$ en los valores de la variable original: $\{z(u) = \varphi^{-1}(y(u)), u \in A\}$.

10) El algoritmo anterior se repite varias veces recorriendo diferentes caminos aleatorios en el punto 5, para obtener un número L de realizaciones equiprobables.

El resultado final es una serie de L realizaciones (mapas de distribución espacial), de las cuales se puede obtener una realización promedio de todas ellas y la incertidumbre de la estimación. La Figura 3.12 muestra los pasos necesarios para obtener una distribución espacial mediante SGS.

En el caso de los mapas de distribución espacial de las distintas variables medidas en el ambiente superficial de los vertederos de Arico y Lazareto, las áreas de estudio fueron divididas por una malla regular de nodos separados unos de otros 2 m en el vertedero de Arico y 1,5 m en el vertedero de Lazareto. La malla está formada por un total de 23381 píxeles, que definen un área total de 45000 m² en el caso de estudio del vertedero de Arico y una malla formada por un total de 30080 píxeles, que definen un área total de 122000 m² en el vertedero de Lazareto. Cada mapa de distribución espacial representado es el promedio de 500 realizaciones equiprobables para el vertedero de Arico y 150 realizaciones equiprobables para el vertedero de Lazareto que cubren toda el área de estudio.

Para la realización del mapa de distribución espacial de las distintas variables en el volcán Teide, el área de estudio fue dividida en una malla regular de nodos separados unos de otros 0,5 m. Dicha malla está formada por 2112 píxeles que definen un área de 0,6 Km². En este caso el mapa de distribución espacial representado es el promedio de 500 realizaciones equiprobables que cubren toda el área de estudio.

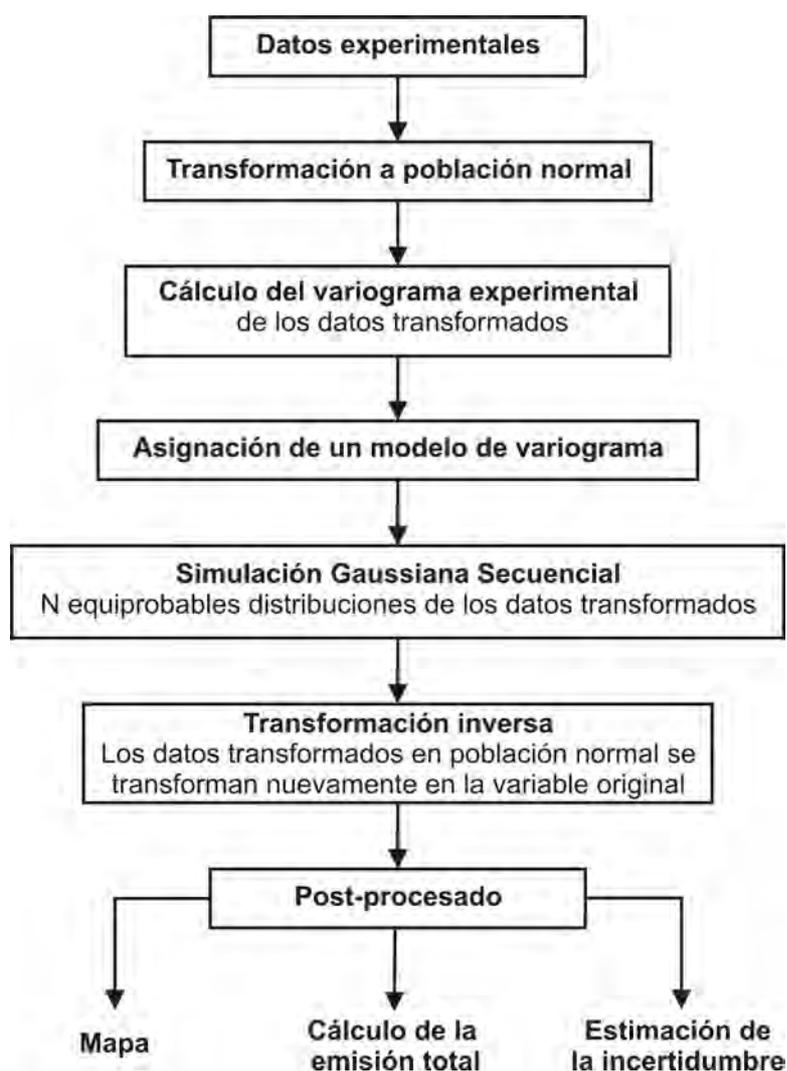


Figura 3.12.- Esquema de los pasos necesarios para la obtención de un mapa de distribución espacial mediante SGS.

3.3 *Resultados y Discusión*

3.3.1 *Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por el vertedero de Arico*

Como se ha comentado anteriormente, en el vertedero de Arico se realizaron dos campañas de prospección de gases durante los años 2004 y 2005. En ellas se procedió a caracterizar la composición química del biogás emitido de forma No-controlada a través de la cobertera superficial del vertedero, así como a cuantificar la tasa de emisión No-controlada de dicho vertedero a la atmósfera.

Con los datos de emisión biogénica No-controlada de cada una de las especies volátiles estudiadas se procedió a la elaboración de mapas de distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada de cada una de estas especies de COVs no metanizados estudiados. Para facilitar la comparación de resultados entre las diferentes campañas realizadas en el vertedero de Arico, utilizamos la misma escala numérica de flujo difuso o emisión biogénica No-controlada de cada especie estudiada en la elaboración de dichos mapas de distribución espacial. El hecho de utilizar la misma escala numérica a la hora de comparar los diferentes niveles de emisión entre las campañas realizadas en Arico durante los años 2004 y 2005, puede hacer que en algunos mapas las zonas de anomalías no aparezcan bien diferenciadas o viceversa, dependiendo de los niveles de emisión (mucho mayor o menor según el caso de estudio) de uno u otro COV no metanizado.

En la campaña realizada en el vertedero de Arico en el año 2004, se procedió a la determinación del flujo difuso de COVs no metanizados, CO_2 y CH_4 a través de la cobertera superficial del vertedero en treinta puntos de muestreo ubicados uniformemente sobre todo el área del vertedero. Los valores de emisión biogénica No-controlada obtenidos para el benceno se representan en la Figura 3.13. De los treinta puntos de observación sólo se midieron valores de benceno en seis puntos de observación. Los valores de emisión No-controlada de benceno oscilaron entre valores no detectados ó por debajo del límite de detección del equipo ($0,0032 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para el caso de estudio del benceno) y $0,60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ como máximo valor detectado y con un valor promedio de $0,05 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el mapa de distribución espacial de la emisión No-controlada de benceno podemos observar como la mayor parte del vertedero se caracteriza por presentar niveles de emisión de benceno inferiores a $0,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las áreas centrales, este y suroeste del vertedero de Arico son las que presentan una mayor emisión de benceno a la atmósfera con valores de emisión biogénica No-controlada de benceno superiores a $0,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el área oeste del vertedero también se aprecia un foco importante de emisión a la atmósfera de benceno con similares valores de emisión a los anteriormente citados.

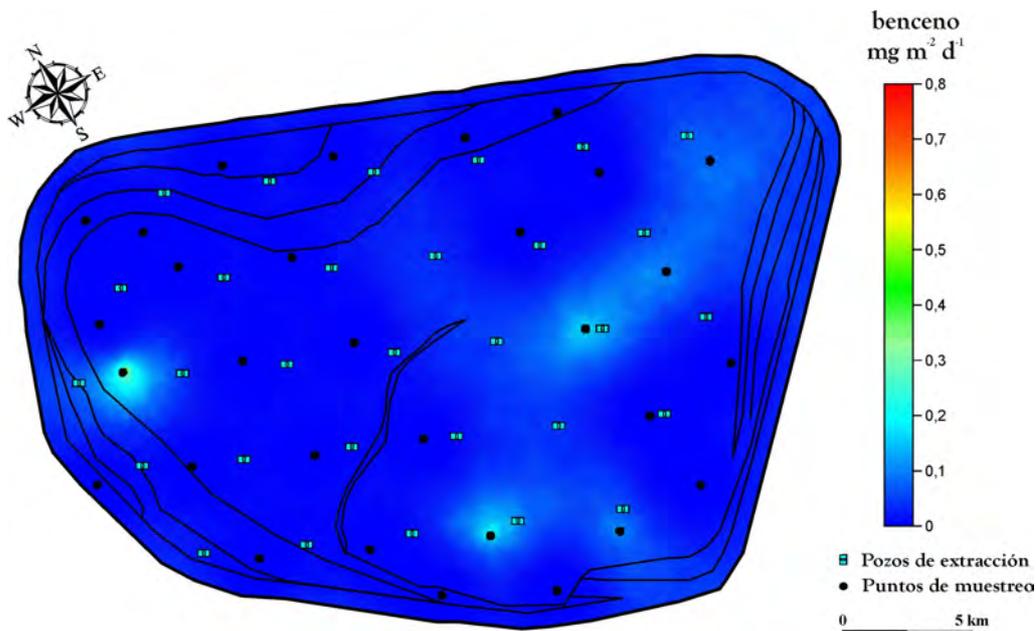


Figura 3.13.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de benceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

La Figura 3.14 muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de tolueno en el biogás procedente de la cobertera superficial del vertedero de Arico. La emisión No-controlada de tolueno en las muestras recogidas alcanzó valores máximos de flujo de $698,80 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, mientras que parte de las medidas realizadas (26%) estuvieron por debajo del límite de detección del equipo que, para el caso del tolueno, es de $0,004 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. El valor promedio de este COV no metanizado se estableció en $30,80 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. De los treinta puntos de observación estudiados se detectaron niveles cuantificables de tolueno en veintidós de ellos. La mayor parte del área estudiada presentó valores de tolueno inferiores a $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ siendo la región este del vertedero de Arico donde se registró la principal anomalía de tolueno con un valor superior a $200 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

La emisión biogénica No-controlada de etilbenceno fue determinada en veinte de las treinta muestras recogidas en la cobertera superficial del vertedero de Arico. La emisión media fue de $7,26 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, mientras que el valor máximo fue de $165,28 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. Los niveles de emisión inferiores al límite de detección del equipo para este compuesto, $0,004 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, no pudieron ser cuantificados. El

mapa de distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada de etilbenceno se muestra en la Figura 3.15.

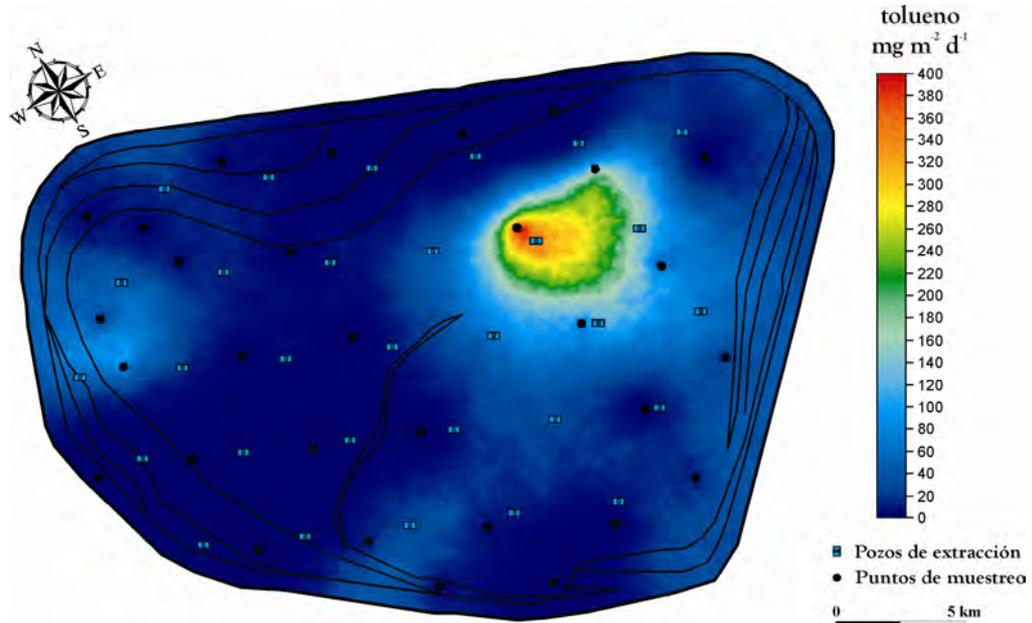


Figura 3.14.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de tolueno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

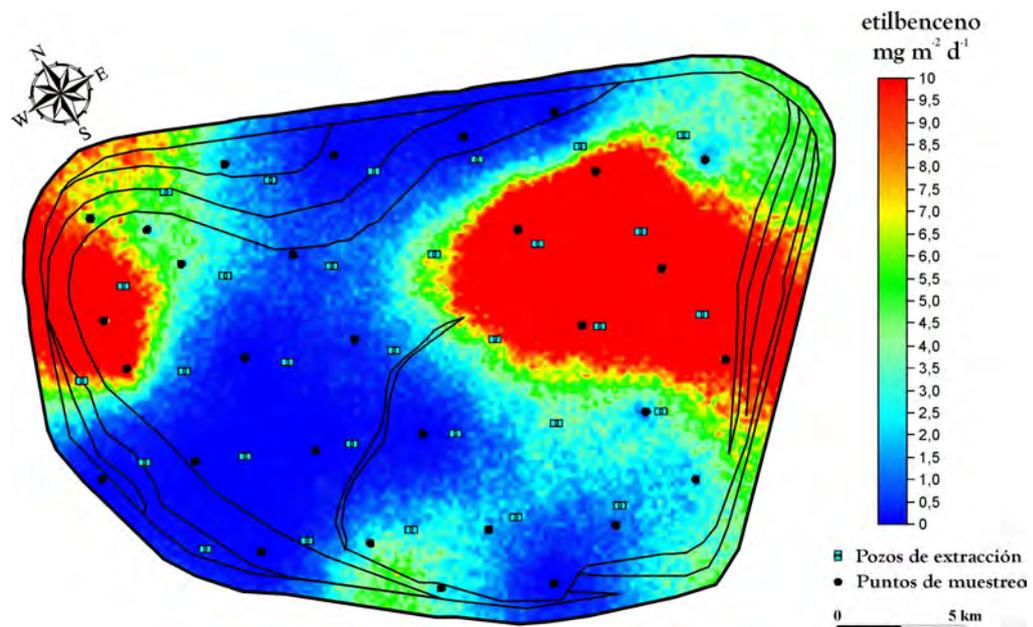


Figura 3.15.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de etilbenceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Como puede observarse, la mayor parte del vertedero muestra niveles de emisión de etilbenceno inferiores a $1,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, encontrándose los mayores

niveles de concentración en los dos principales núcleos de emisión, la zona este del vertedero y la zona noroeste, con valores de emisión biogénica No-controlada de etilbenceno superiores a $7,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

El m+p xileno es otro de los COVs no metanizados identificados en las muestras de biogas procedentes de la cobertera superficial del vertedero de Arico. Este compuesto presentó concentraciones cuantificables de emisión biogénica No-controlada en veinte de las treinta muestras recogidas. La mayor emisión No-controlada observada para el m+p xileno fue de $257,38 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los niveles de emisión inferiores al límite de detección del equipo para este compuesto, $0,0044 \text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, no pudieron ser cuantificados. El valor promedio de emisión biogénica No-controlada de m+p xileno es del orden de $11,01 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el mapa de distribución espacial de emisión biogénica No-controlada de m+p xileno se observan dos principales áreas de emisión, estas son el área este y noroeste del vertedero de Arico (Figura 3.16). Estas áreas presentan valores de emisión superiores a $18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ mientras que el resto del área del vertedero presenta valores de emisión inferiores a $6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

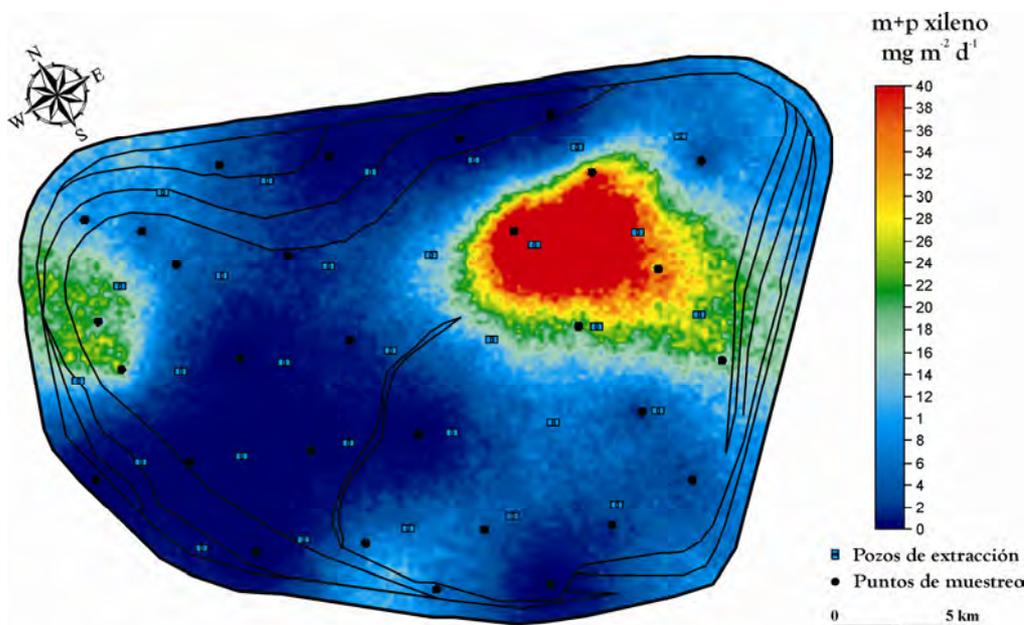


Figura 3.16.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de m+p xilenos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Los valores de emisión No-controlada de o-xileno medidos en los dieciocho puntos de observación del vertedero de Arico variaron entre valores no detectados o inferiores al límite de detección del equipo para el o-xileno ($80,004 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y $379,64 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. La Figura 3.17 muestra la distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada de o-xileno en el vertedero de Arico durante el año 2004. La mayor parte del vertedero presenta valores de fondo de emisión biogénica de o-xileno, este es, valores de emisión inferiores a $15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las principales anomalías observadas para el caso de estudio del o-xileno están localizadas en la zona este y noroeste del vertedero de Arico. Estas áreas anómalas se caracterizan por presentar niveles de emisión biogénica No-controlada de o-xileno superiores a $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

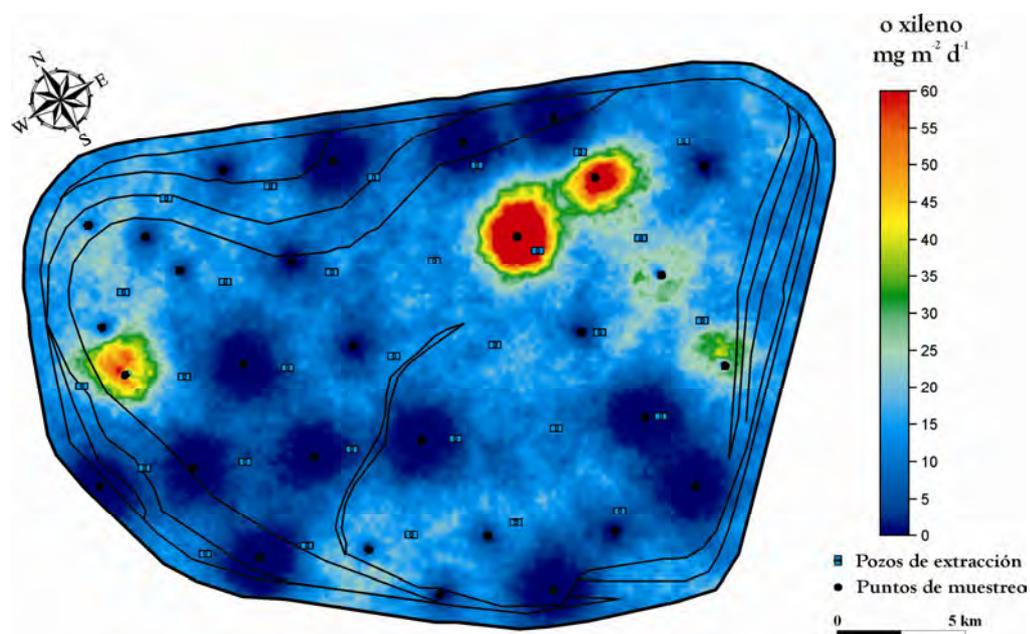


Figura 3.17.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Los valores de emisión biogénica No-controlada de BTEX registrados en el vertedero de Arico muestran un valor promedio de emisión de $63,09 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que los valores mínimos y máximos de emisión han ido desde valores no detectados a $1501,10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. Una inspección de la distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada de BTEX refleja una distribución no homogénea de los niveles de emisión de dichos

compuestos. Los valores cuantificables de BTEX fueron medidos en veintidós de las treinta observaciones realizadas en la superficie del vertedero de Arico. Los mayores niveles de emisión de BTEX se localizaron en la zona este del vertedero con valores de emisión superiores a $400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que la mayor parte del vertedero de Arico presentó valores de emisión de BTEX inferiores a $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Figura 3.18).

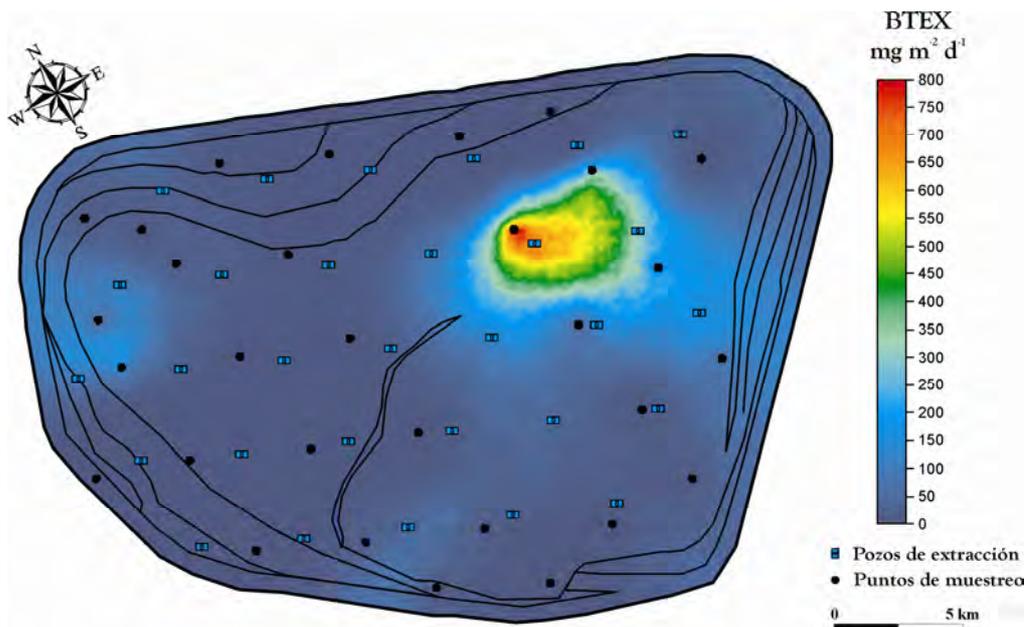


Figura 3.18.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de BTEX a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

La emisión de radicales bencénicos fue medida en veinte de los treinta puntos de observación realizados en la cobertera superficial del vertedero de Arico. Los valores de emisión biogénica No-controlada del vertedero de Arico variaron entre valores no detectados por el equipo hasta valores máximos de emisión de $329,91 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El valor promedio de emisión No-controlada fue de $21,19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.19 podemos observar el mapa de distribución espacial de los niveles de emisión No-controlada de radicales bencénicos. Se observan dos claras regiones anómalas caracterizadas por valores de emisión No-controlada superiores a $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el resto del área del vertedero presenta valores de fondo, es decir, valores de emisión inferiores a $15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

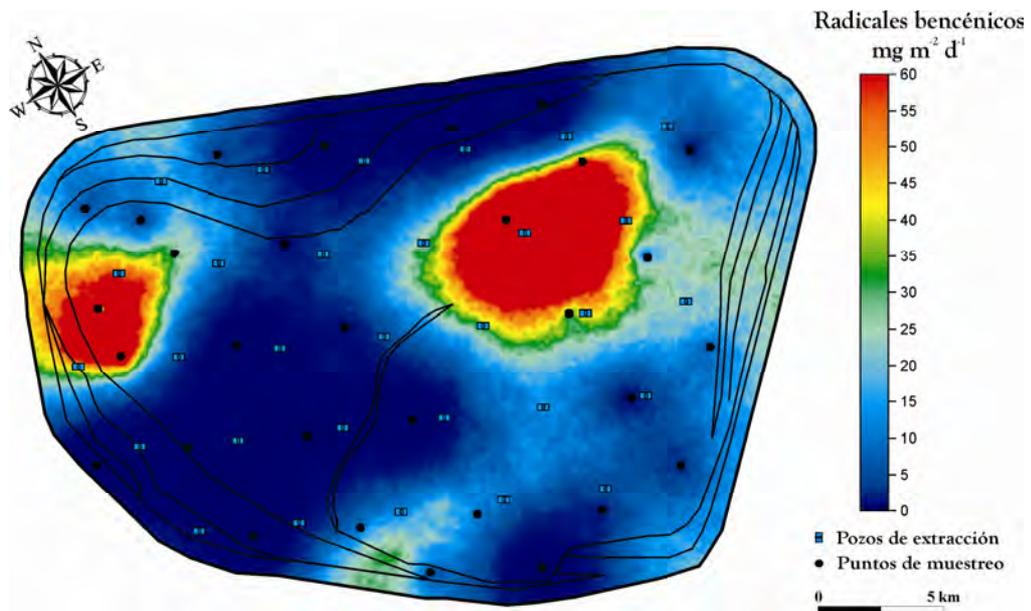


Figura 3.19.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

De las treinta muestras de biogás tomadas en la cobertera superficial del vertedero de Arico, sólo veintidós presentaron valores medibles de hidrocarburos aromáticos no halogenados, los cuales variaron entre valores no detectados por el equipo y $2256,64 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El valor promedio establecido para la emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados en la cobertera del vertedero fue de $95,97 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Como puede observarse en la Figura 3.20, las mayores valores de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados se determinaron en la zona este y noroeste del vertedero de Arico, con valores superiores a los $500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las muestras de biogás recogidas en la cobertera superficial del resto del vertedero, mostraron valores de emisión inferiores a $300 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

La Figura 3.21 muestra la distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos halogenados determinados en el biogás procedente de la cobertera superficial del vertedero de Arico en el año 2004. El rango de los valores medidos de emisión varió entre valores por debajo del límite de detección del instrumento y $101,69 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El valor promedio

de emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos halogenados fue de $16,18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

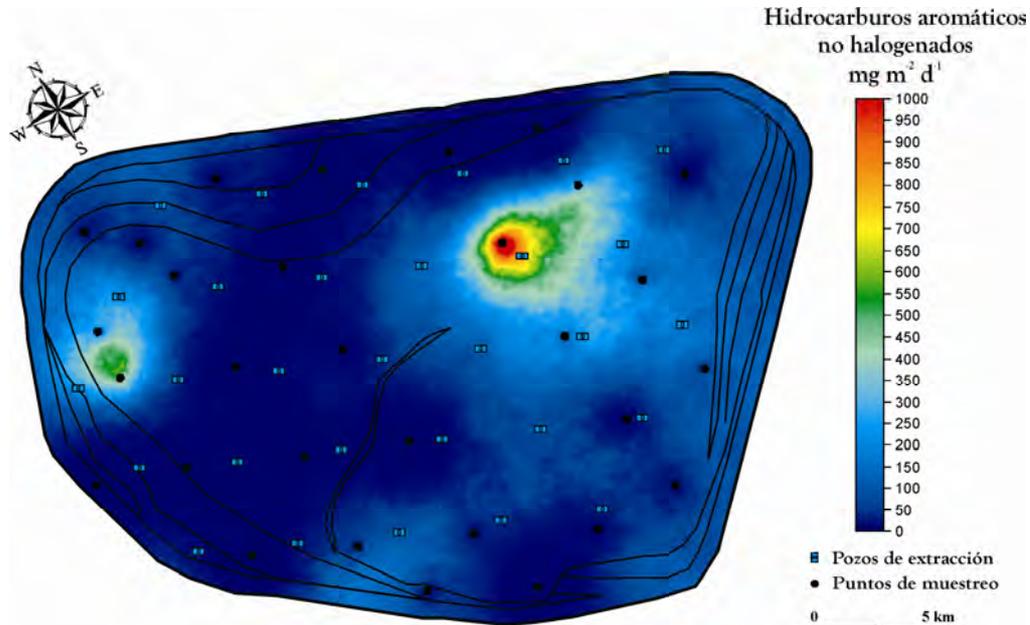


Figura 3.20.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de Hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

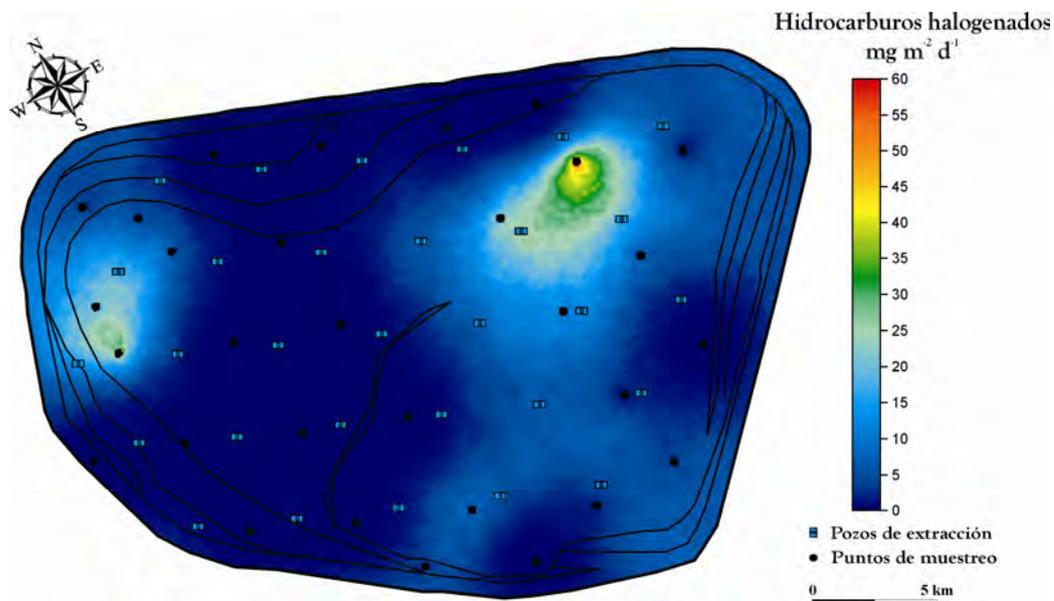


Figura 3.21.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Sólo se detectaron valores cuantificables de hidrocarburos halogenados en quince del total de puntos de observación. Como puede observarse en la Figura 3.21, la mayor parte del vertedero presentó valores de emisión de hidrocarburos halogenados inferiores a los $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Sin embargo y al igual que ocurre con otros COVs no metanizados, los mayores niveles de emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos halogenados estuvieron localizados en las zonas este y noroeste del vertedero de Arico.

Respecto al estudio de la emisión biogénica No-controlada de CFC a través de la superficie del vertedero de Arico, los valores encontrados variaron entre valores no detectables por el equipo y $97,79 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El valor promedio fue de $4,17 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. De las treinta muestras de gas recogidas en el vertedero de Arico solamente pudieron cuantificarse CFC en ocho muestras. La distribución espacial de los niveles de flujo difuso de CFC en el vertedero de Arico se muestra en la Figura 3.22. Se observan tres núcleos principales de emisión biogénica No-controlada de CFC superiores a $3,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El resto del vertedero se caracteriza por presentar valores de emisión de fondo valores inferiores a $2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

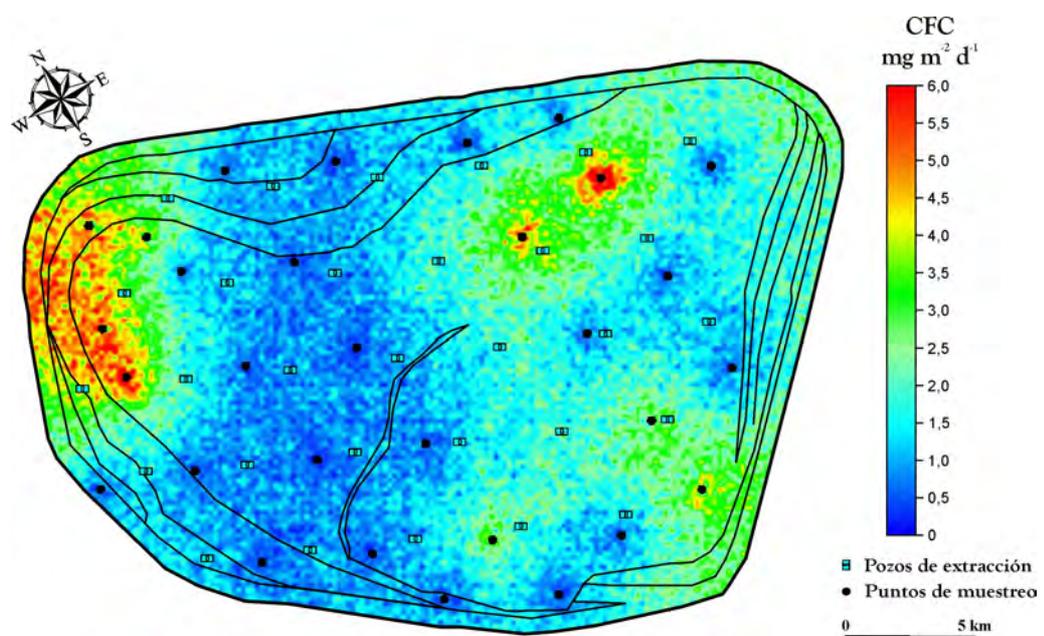


Figura 3.22.- Distribución espacial de la emisión biogénica "NO" controlada de CFC a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Los resultados obtenidos sobre la flujo difuso o emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados en el vertedero de Arico muestran valores de emisión desde cero a $2270,06 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. Niveles cuantificables de emisión biogénica No-controlada de COVs fueron determinados en treinta y una veintidós muestras de un total de treinta puntos de observación. El valor promedio de emisión No-controlada de COVs en el vertedero de Arico ha sido estimado en $102,15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el mapa de distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de COVs en el vertedero de Arico se observan como la mayor parte del vertedero de Arico presenta niveles de emisión de COVs inferiores a $90 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, también de observan dos áreas de mayor emisión de COVs, el área este y noroeste del vertedero con niveles de emisión de COVs superiores a $180 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Figura 3.23).

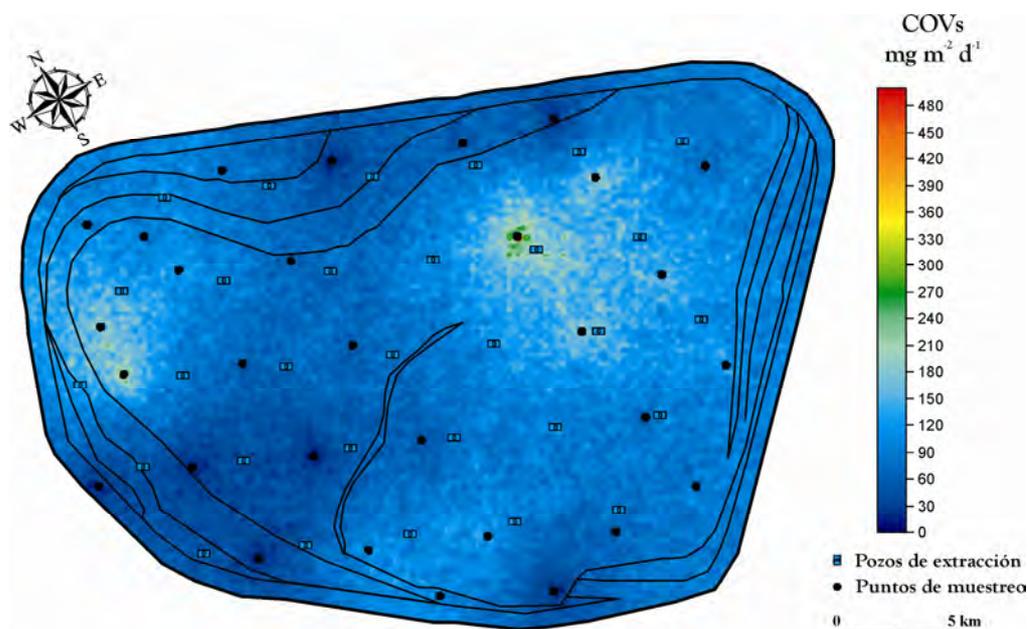


Figura 3.23.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de COVs a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Los componentes mayoritarios del biogás generado por los vertederos son el CH_4 y el CO_2 , pudiendo ambos alcanzar concentraciones superiores al 40% en volumen. El CO_2 es el segundo gas en importancia en la composición del biogás. Este gas es más denso que el aire, es incoloro, inodoro y no inflamable. A pesar

de su naturaleza no tóxica, el CO₂ es muy peligroso para la vida al desplazar el O₂ en el sistema respiratorio (Winter, 1979; Hoatcher & Wright, 1988). Respecto al CH₄, es el primer gas en importancia en la composición del biogás. Es un gas incoloro, indoloro, e inflamable. Concentraciones de CH₄ entre un 5 y un 15% en el aire dan lugar a mezclas explosivas. El CH₄ no es un gas tóxico pero puede causar por desplazamiento del oxígeno en la atmósfera del suelo asfixia radicular en las plantas (Hoatcher & Wright, 1988).

Los resultados obtenidos sobre el proceso de emisión biogénica No-controlada o desgasificación difusa de CO₂ en el ambiente superficial del vertedero de Arico reflejan un amplio rango de valores de flujo difuso de CO₂. Los valores promedio observados para el flujo difuso de CO₂ en el ambiente superficial del vertedero de Arico han sido 184,72 g·m⁻²·d⁻¹, mientras que los valores máximos y mínimos observados han sido 676,45 y 4,19 g·m⁻²·d⁻¹, respectivamente. La distribución espacial de los valores de flujo difuso de CO₂ en el área de estudio refleja una distribución no homogénea de dicho compuesto en el ambiente superficial del vertedero (Figura 3.24). La mayor parte del vertedero presenta valores de flujo difuso de CO₂ inferiores a 100 g·m⁻²·d⁻¹, diferenciándose tres núcleos principales de valores altos superiores a 300 g·m⁻²·d⁻¹; en la parte oeste, central y suroeste del vertedero de Arico. La zona del vertedero que presenta los mayores valores de emisión difusa de CO₂ a la atmósfera por el vertedero de Arico (>400 g·m⁻²·d⁻¹) se localizan en el oeste y suroeste del mismo.

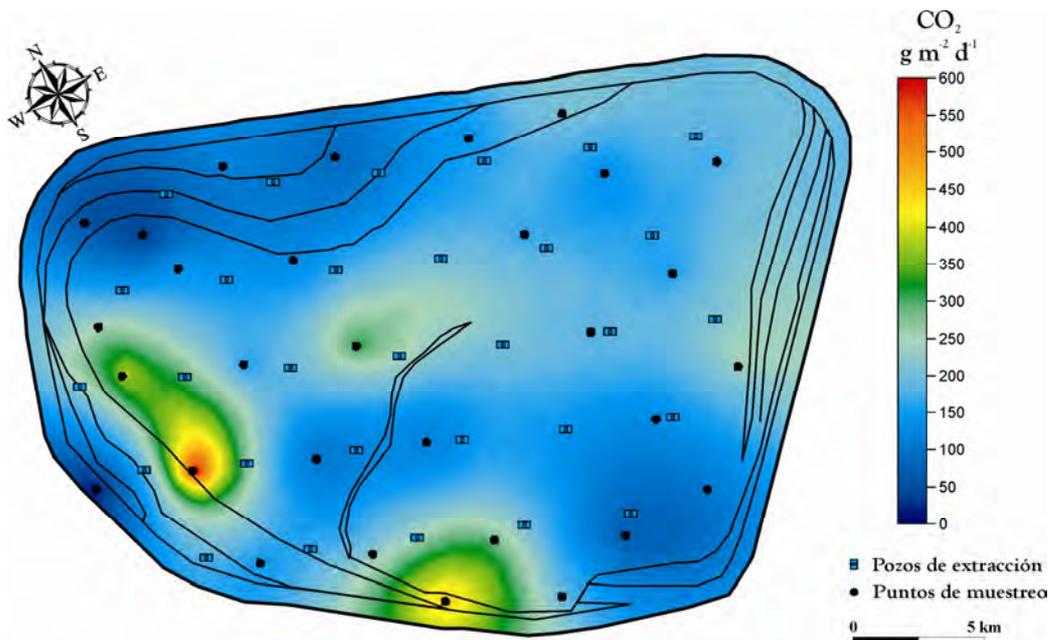


Figura 3.24.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlados de CO₂ a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Los resultados obtenidos sobre el proceso de emisión biogénica No-controlada de CH₄ en el ambiente superficial del vertedero de Arico reflejan también un amplio rango de valores en al ambiente superficial del vertedero. Determinamos valores de emisión biogénica No-controlada o flujo difuso de CH₄ en siete de las treinta muestras realizadas en la cobertera superficial del vertedero de Arico. El valor promedio calculado de emisión biogénica No-controlada de CH₄ es 4,00 g·m⁻²·d⁻¹, mientras que el valor máximo observado es 54,67 g·m⁻²·d⁻¹.

En la Figura 3.25 se presenta la distribución espacial de los valores de flujo difuso de CH₄. La mayor parte del vertedero presenta valores inferiores a 2 g·m⁻²·d⁻¹, diferenciándose un núcleo principal de emisión de CH₄ (>5 g·m⁻²·d⁻¹) en la zona noroeste del vertedero de Arico.

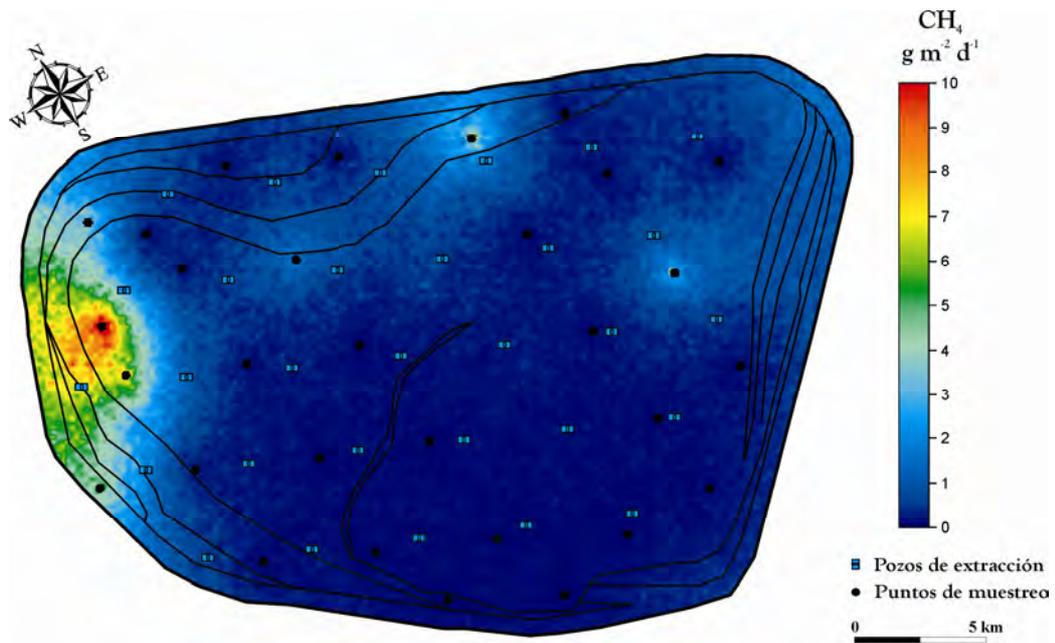


Figura 3.25.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CH_4 a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004.

Es importante destacar que durante el año 2004, la zona más activa del vertedero de Arico es el área este, con valores máximos de emisión No-controlada de tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales. La segunda área donde encontramos valores importantes de emisión biogénica de No-controlada de COVs no metanizados es el área oeste del vertedero de Arico, donde encontramos también valores altos de benceno, o-xileno, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales. Es en esta área donde también encontramos los mayores niveles de emisión de CH_4 . En el caso del CO_2 las principales anomalías se localizan en el área oeste, suroeste y centro del vertedero. En la campaña realizada en el vertedero de Arico en el año 2005, y al igual que en la campaña realizada en este mismo vertedero en 2004, se procedió a la determinación del flujo difuso de COVs no metanizados, CO_2 y CH_4 a través de la cobertera superficial del vertedero. En esta ocasión se realizaron treinta y dos puntos de observación ubicados uniformemente sobre todo el área del vertedero. De estos treinta y dos puntos de observación sólo se

detectaron valores medibles de benceno en cinco de ellos, mientras que en la campaña realizada en Arico en 2004 sólo se determinó benceno en seis puntos de medida. En la Figura 3.26 se presenta la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de benceno durante el estudio realizado en 2005. Los valores de emisión biogénica No-controlada de benceno son superiores a los medidos durante la campaña realizada en el 2004. El máximo valor de emisión de benceno fue $1934,43 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, muy superior al máximo valor medido durante el año 2004 ($0,60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). El valor promedio de emisión biogénica no-controlada de benceno calculado para la campaña de 2005 fue $60,92 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el calculado para la campaña de 2004 fue de $0,05 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Para representar el mapa de distribución espacial de la emisión de benceno para la campaña realizada en 2005 se ha usado una escala diferente de concentración pues utilizando la escala de 2004 las anomalías se extienden a todo el mapa. En la distribución espacial de la emisión de benceno en 2005 se observa como las áreas anómalas se extienden por las áreas suroeste y noroeste del vertedero (Figura 3.13).

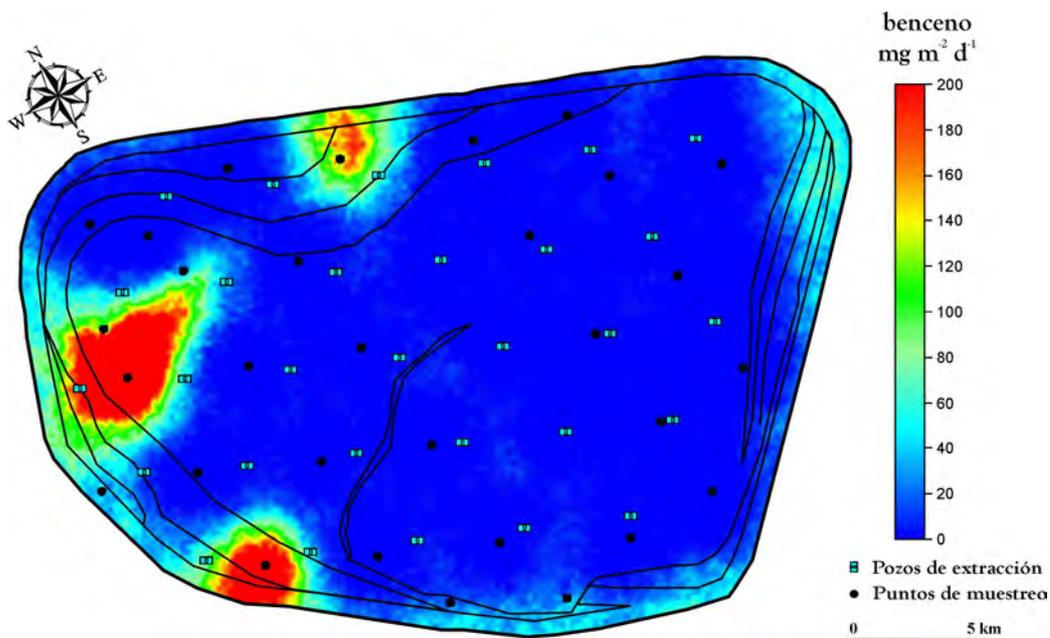


Figura 3.26.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de benceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

La mayor parte del vertedero de Arico presenta valores de emisión biogénica No-controlada de benceno inferiores a $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las principales áreas anómalas presentan valores de flujo difuso de benceno superiores a $120 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

Los valores de emisión biogénica No-controlada de tolueno determinados en el vertedero de Arico durante la campaña realizada en el año 2005, son muy similares a los determinados durante el estudio realizado en 2004. Los valores mínimos y máximos de emisión de tolueno determinados durante la campaña de 2005 en el vertedero de Arico oscilan desde valores no detectables por el equipo a niveles de emisión y $1102,98 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Estos valores de emisión son ligeramente superiores a los máximos registrados durante la campaña realizada en Arico en 2004 ($698,80 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). Sin embargo, el valor promedio de emisión biogénica No-controlada de tolueno en 2005 fue $45,98 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, siendo del mismo orden de magnitud que el calculado para el estudio realizado en 2004 ($30,80 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). En este estudio de emisión de tolueno se han medido valores cuantificables de emisión de tolueno en treinta y una de las treinta y dos observaciones realizadas. A pesar de presentar el vertedero de Arico valores promedio similares de emisión de tolueno durante las campañas realizadas en 2004 y 2005, cuando observamos la distribución espacial de tolueno durante las campañas realizadas en 2004 (Figura 3.14) y 2005 (Figura 3.27) se aprecian diferencias notables en cuanto a la localización y los valores de emisión de las principales áreas de emisión biogénica No-controlada de tolueno. En la Figura 3.27 se observa como la mayor parte del vertedero de Arico presenta valores de emisión inferiores a $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, correspondientes a los valores de fondo iguales a los determinados en el estudio realizado en dicho vertedero en 2004. Las principales áreas de emisión de tolueno se encuentran muy dispersas a lo largo del área de estudio, al contrario que en la campaña de 2004 donde esta se encontraba muy localizada (este del vertedero). Los valores de emisión de tolueno en estas áreas son superiores a los $120 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el estudio realizado en 2004 (Figura 3.14) el área anómala estaba muy localizada y con valores de emisión superiores a los $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

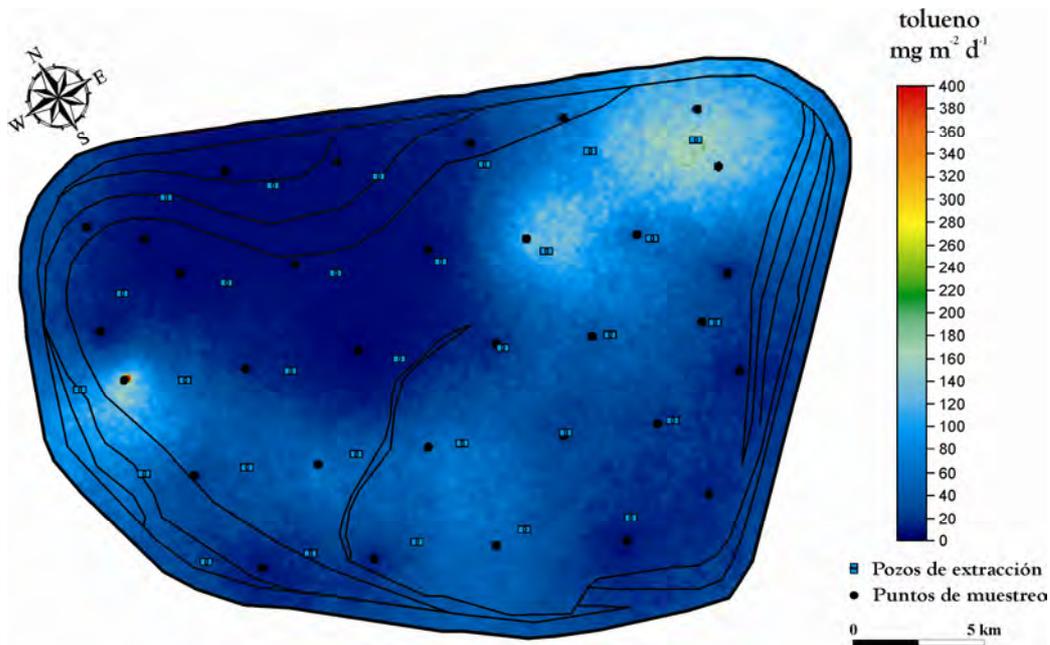


Figura 3.27.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de tolueno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

En la campaña realizada en el vertedero de Arico durante 2005, se determinó también la emisión biogénica de etilbenceno en treinta muestras de un total de treinta y dos observaciones realizadas. Los valores de etilbenceno determinados durante 2005 variaron entre valores de emisión no cuantificables y máximos de $18,24 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, un orden de magnitud inferior a los registrados durante 2004 ($165,28 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). Sin embargo, los valores promedio de emisión biogénica No-controlada de etilbenceno estimados durante ambas campañas presentaron valores similares, $7,26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ para 2004 y $2,32 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ para 2005. En la Figura 3.28 se muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de etilbenceno en el vertedero de Arico durante la campaña realizada en 2005. La mayor parte del vertedero presenta valores de emisión de etilbenceno inferiores a $3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que las zonas de mayor emisión presentan valores superiores a $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Al comparar los mapas de distribución de emisión biogénica No-controlada de etilbenceno durante los años 2004 y 2005, podemos observar que a pesar de presentar las mismas áreas de emisión anómala, están parecen haberse reducido de una campaña a otra. Mientras que en 2004 las principales anomalías presentaban valores de emisión

superiores a $7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ y se extendían por todo el flanco este y noroeste del vertedero, en 2005 parece reducirse significativamente la extensión de las anomalías. Estas aparecen en el flanco este y en la zona sur del vertedero.

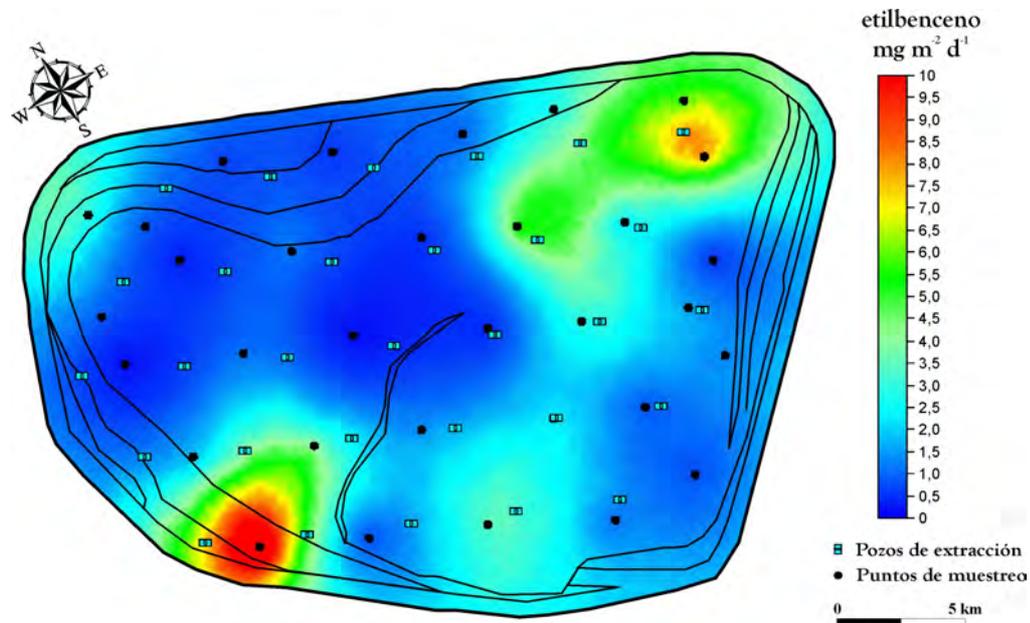


Figura 3.28.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de etilbenceno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

El valor promedio de flujo difuso o emisión biogénica No-controlada de m+p xileno en el vertedero de Arico durante el estudio realizado en 2005 fue $7,39 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los valores de emisión variaron entre no cuantificables y $158,53 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Este valor máximo es inferior al obtenido durante el estudio realizado en 2004 ($257,38 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). La distribución espacial de la emisión de m+p xileno se representa en la Figura 3.29. La mayor parte del vertedero presenta niveles de emisión de m+p xileno inferiores a $6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que las áreas de mayor emisión presenta valores superiores a los $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las tres áreas anómalas identificadas se encuentran situadas en el flanco este del vertedero, en la zona oeste y suroeste del mismo. En la campaña realizada en esta celda de vertido en 2004 se apreciaban dos anomalías en el área este y oeste del mismo, y transcurrido un año, las áreas anómalas además de reducirse han aparecido en emplazamientos diferentes dentro del vertedero.

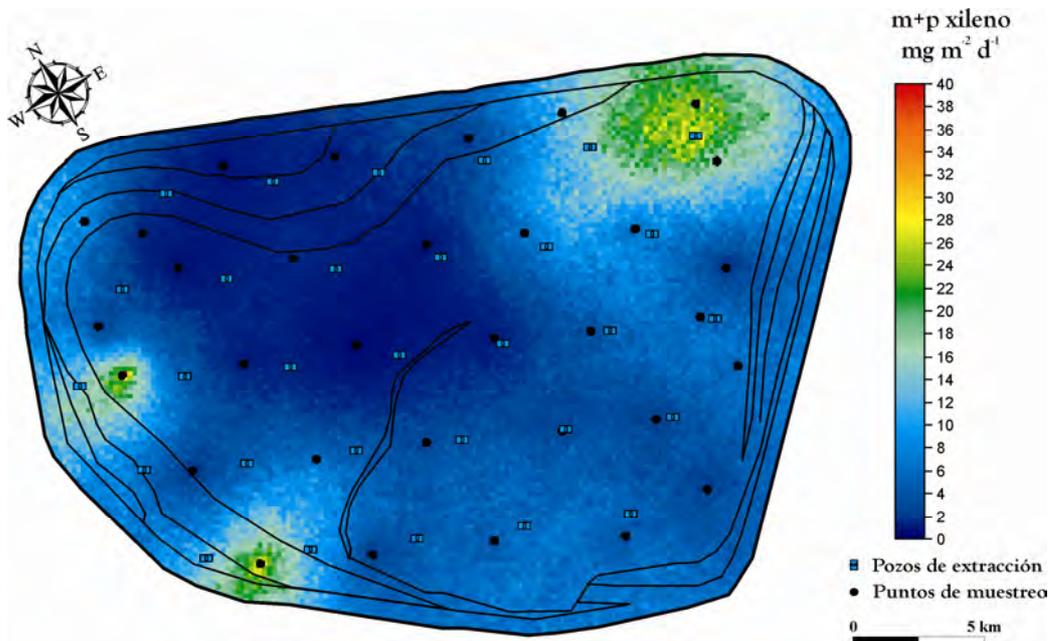


Figura 3.29.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de m+p xileno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

Durante el año 2005 se midieron valores de emisión biogénica No-controlada de o-xileno en un 84,4% del total de muestras tomadas en la cobertera superficial del vertedero de Arico. Los valores de emisión biogénica de o-xileno variaron entre los no detectables por el instrumento y $179,21 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El valor promedio de emisión de o-xileno durante este periodo de estudio fue $7,41 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el promedio de emisión de o-xileno en el estudio realizado en 2004 fue $13,98 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Durante la campaña realizada en el vertedero de Arico en 2005 se puede apreciar como la mayor parte de del vertedero presentaba valores de emisión de o-xileno inferiores a $15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que los principales núcleos de emisión de o-xileno ubicados al este y oeste del vertedero presentaban valores superiores a $30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Figura 3.30). Si comparamos la distribución espacial de la emisión de o-xileno en el vertedero de Arico durante los años 2004 y 2005, podemos observar como los núcleos de emisión disminuyen en tamaño de un año a otro, aunque los valores de emisión de fondo en el vertedero ($<15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) y las áreas anómalas ($30 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) están caracterizadas con los mismos valores (Figura 3.17 y 3.30).

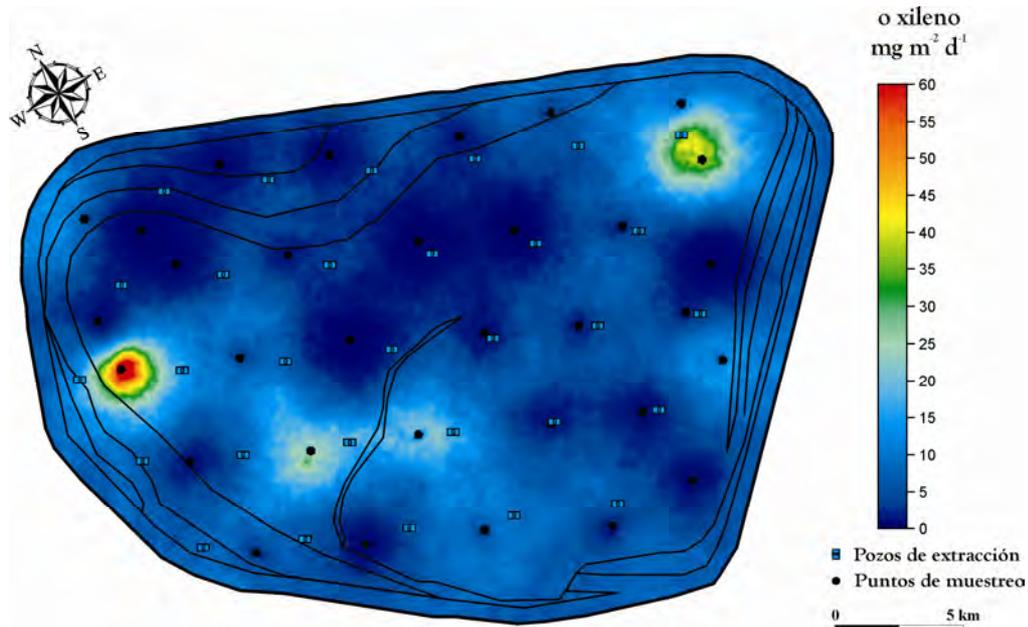


Figura 3.30.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

El estudio de emisión biogénica No-controlada de BTEX realizado en el vertedero Arico en 2005 refleja valores máximos de emisión de $3375,15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $124,02 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Este valor promedio es el doble del obtenido durante el estudio de 2004 ($63,09 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). En treinta y una de las treinta y dos muestras tomadas en la cobertera superficial del vertedero, se midieron valores cuantificables de BTEX. Los valores de emisión de fondo medidos en la campaña de 2005 fueron inferiores a $200 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. La distribución espacial de la emisión biogénica de BTEX durante 2005 (Figura 3.31) muestra que las dos áreas principales de emisión están localizadas al este y oeste del vertedero, mientras que en el 2004 solo se identificó una zona anómala de emisión (Figura 3.18). Las áreas este y oeste del vertedero son las zonas donde se observó una mayor emisión de BTEX a la atmósfera, con valores superiores a los $300 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

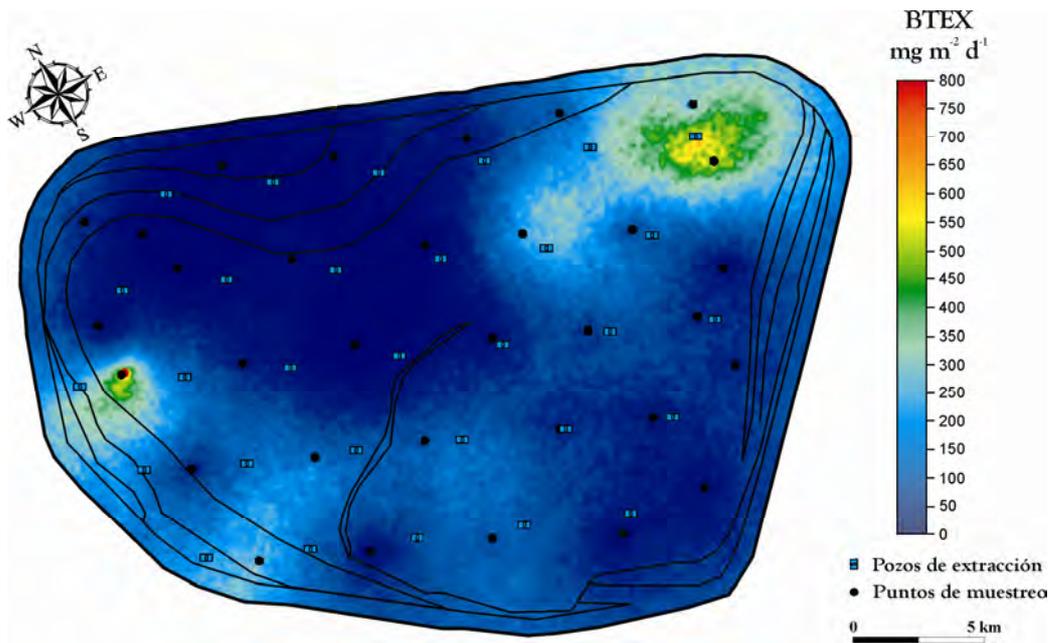


Figura 3.31.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de BTEX a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

Durante la campaña de 2005 se estimó también la emisión No-controlada de radicales bencénicos a la atmósfera. Del total de medidas realizadas, el 97% de los puntos de observación fueron cuantificados. Los valores de emisión medidos variaron entre no detectables y $280,57 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $13,15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Estos valores son del mismo orden de magnitud que los obtenidos en el estudio realizado en 2004 ($21,19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). En la Figura 3.32 se muestra el mapa de emisión difusa biogénica No-controlada de radicales bencénicos en el vertedero de Arico para la campaña de 2005. La mayor parte del área del vertedero presenta valores inferiores a $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Se observan tres áreas de emisión anómala ($>25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) al este, oeste y suroeste del vertedero. Si comparamos este mapa con el mapa obtenido para el estudio de 2004, podemos observar como las áreas anómalas se han reducido considerablemente y han aparecido otras nuevas.

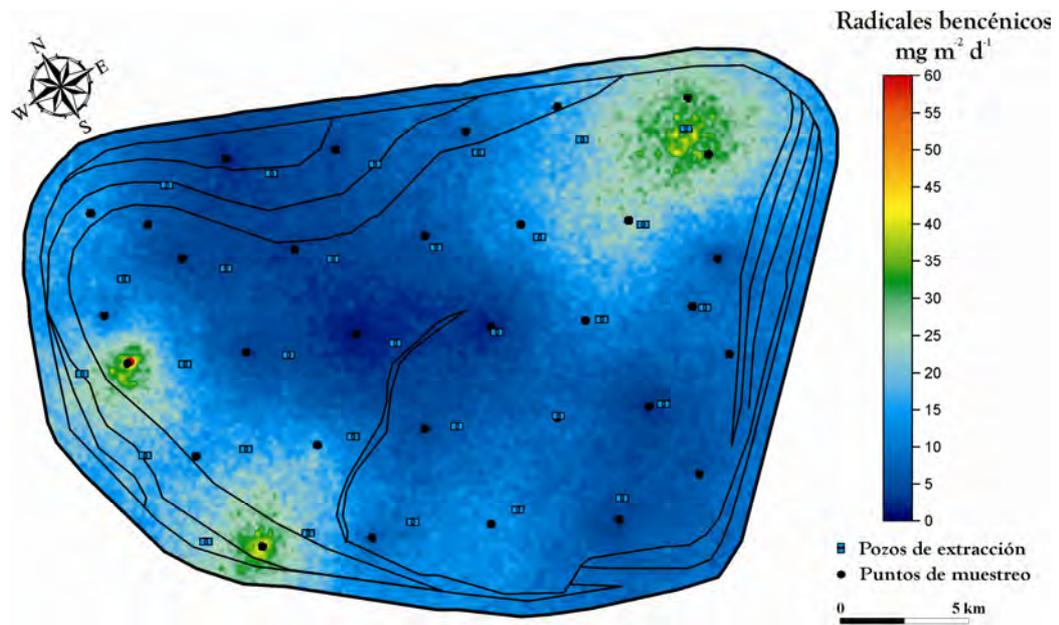


Figura 3.32.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

De todos los COVs no metanizados identificados y cuantificados en este estudio, los hidrocarburos aromáticos no halogenados son los más abundantes (Figura 3.33). La emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados en la cobertera superficial del vertedero de Arico varió entre valores no cuantificables y $4693,54 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $167,43 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el estudio realizado en 2005 se determinaron valores cuantificables en treinta y una de las treinta y dos muestras realizadas. En el mapa de distribución espacial de la emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados podemos observar tres áreas anómalas localizadas en los flancos este, oeste y una menos nítida en el suroeste del vertedero. Estas áreas destacan por presentar niveles de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados superiores a $400 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El resto del área presenta valores de emisión inferiores a $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

Durante el estudio realizado en el vertedero de Arico en 2005, los valores obtenidos de emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos halogenados variaron entre no detectados y $92,42 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de emisión de $4,07 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, del mismo orden de magnitud que el obtenido en la

campaña realizada en 2004 de $6,18 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.34 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa biogénica No-controlada en la cobertera superficial del vertedero de Arico.

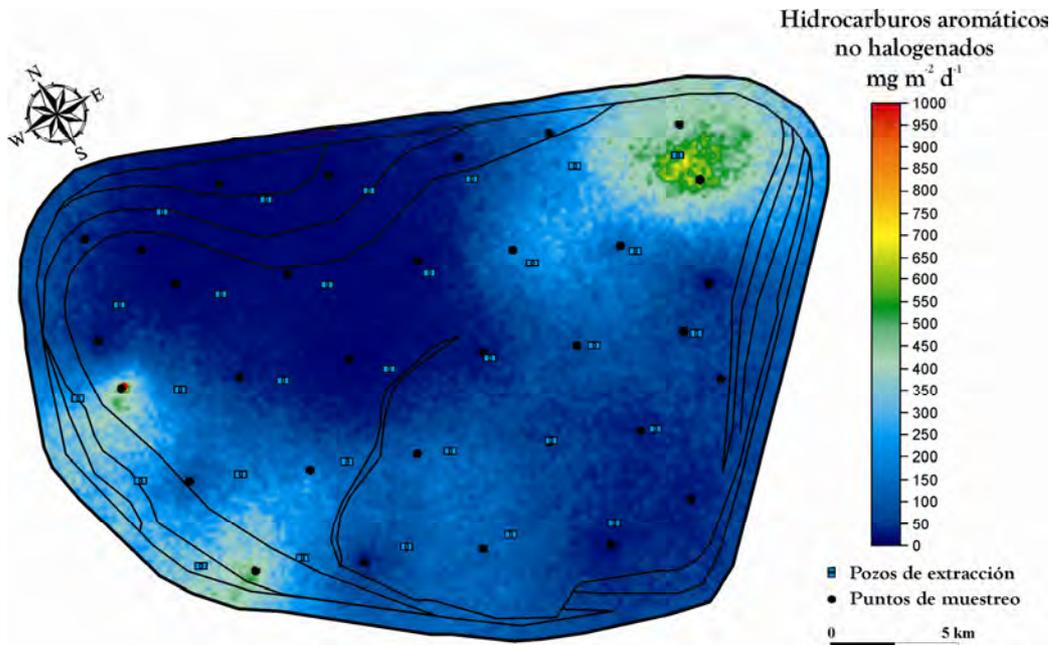


Figura 3.33.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

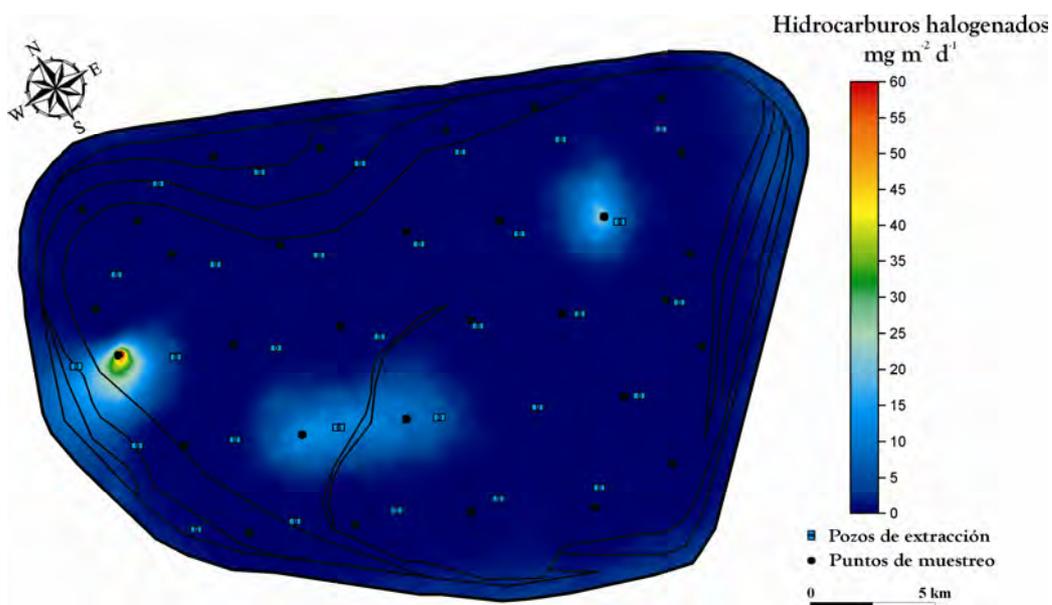


Figura 3.34.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de Hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

Se observan tres áreas principales de emisión en el vertedero; al este, oeste y centro-suroeste. Estas áreas anómalas se caracterizan por presentar valores de emisión de hidrocarburos halogenados superiores a $15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el resto de la cobertera superficial del vertedero presenta valores inferiores a $5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Si comparamos los mapas de distribución espacial de hidrocarburos halogenados obtenidos durante las campañas realizadas en los años 2004 y 2005 podemos observar como las anomalías de estos COVs no metanizados se han reducido de un año a otro, tanto en el área este como oeste del vertedero, mientras que en 2005 aparece una nueva anomalía en el área centro-suroeste del vertedero.

De los diferentes COVs no metanizados identificados y cuantificados en la campaña realizada en el vertedero de Arico en 2005, los CFCs fueron los menos abundantes. Los valores de emisión biogénica No-controlada de CFCs variaron entre no detectados y $14,13 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, valor inferior al observado en 2004 de $97,79 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Así mismo, el valor promedio de emisión calculado para esta campaña, $0,72 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, fue inferior al obtenido en 2004, $4,17 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de CFC podemos observar como la mayor parte del vertedero de Arico presentaba niveles emisión biogénica inferiores a $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las principales zonas de emisión biogénica No-controlada de CFC, con valores de emisión superiores a $2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, se localizaron al este y centro-suroeste del vertedero.

El estudio de la emisión biogénica No-controlada del total de COVs no metanizados estudiados en el vertedero de Arico, pone de manifiesto que durante el año 2005 se observa un ligero aumento de la emisión de COVs con respecto al año 2004. Los valores de emisión No-controlada durante la campaña de 2005 variaron entre no detectados y $4785,96 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los valores promedios calculados en ambas campañas reflejan niveles similares de emisión. El valor promedio en el 2005 fue $171,50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que en el 2004 fue $102,15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.36 se muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de COVs en la cobertera superficial del

vertedero de Arico en la campaña de 2005. La mayor parte del área de estudio muestra valores de emisión de COVs inferiores a $120 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que los flancos este y oeste del vertedero destacan por presentar valores de emisión de COVs superiores a $270 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

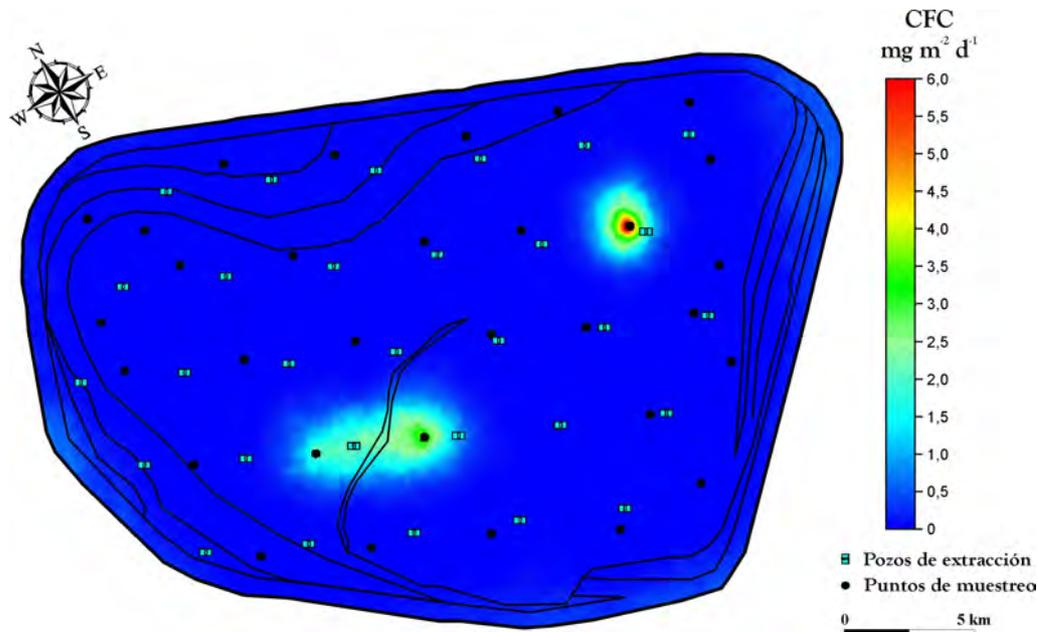


Figura 3.35.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CFC a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

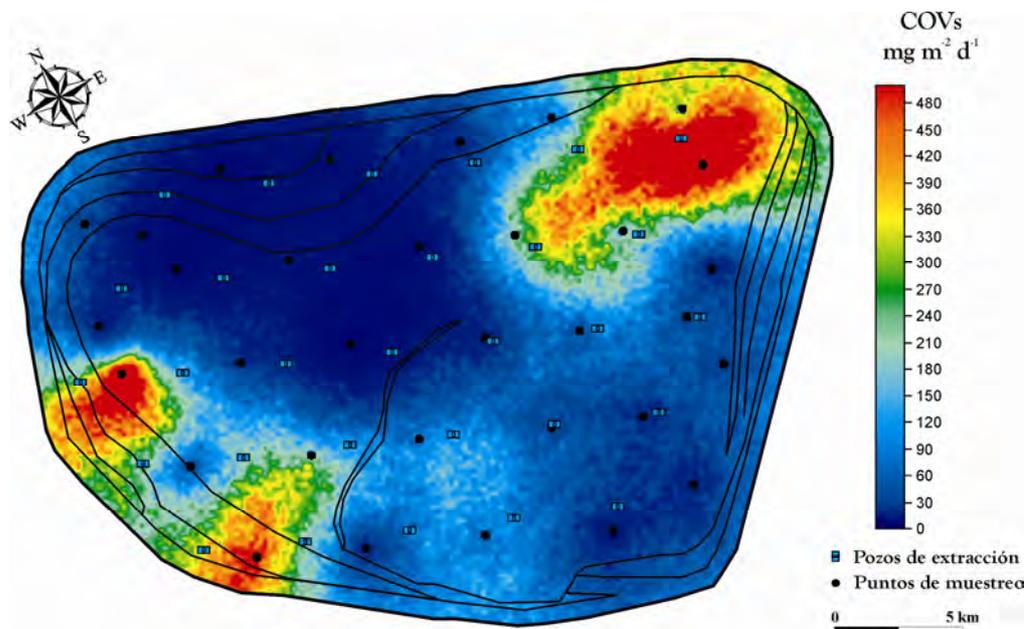


Figura 3.36.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de COVs a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

Entre 2004 y 2005, se observa como las áreas anómalas se han incrementado tanto en magnitud como en intensidad. El biogas generado en los vertederos está compuesto mayoritariamente por CO_2 y CH_4 . El CO_2 es el producto final de una larga y compleja serie de procesos físicos, químicos y microbiológicos que ocurren dentro del vertedero durante la degradación de los RSU. En la campaña materializada en el vertedero de Arico en el año 2005, se procedió a la determinación del flujo difuso de CO_2 a través de la cobertera superficial del vertedero en treinta y dos puntos de muestreo ubicados uniformemente sobre todo el área de estudio. Los valores obtenidos variaron entre 33,06 y 2665,21 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de 342 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.37 se muestra la distribución espacial del flujo difuso de CO_2 en el ambiente superficial del vertedero de Arico. Como puede observarse, los mayores valores de flujo difuso de CO_2 se localizaron en las zonas este, oeste y suroeste del vertedero, extendiéndose esta última hacia la zona central del vertedero. Aunque la mayor parte de la superficie del vertedero presenta valores de fondo de emisión biogénica No controlada de CO_2 ($<200 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$), las principales áreas anómalas destacan por presentar valores de emisión superiores a 400 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Si comparamos la distribución espacial de CO_2 obtenida en este periodo de estudio, con la distribución espacial de CO_2 obtenida para el vertedero de Arico en 2004 (Figura 3.24), podemos observar como las anomalías superficiales en dicho vertedero han aumentado considerablemente de un año a otro. En la campaña realizada en 2004, las anomalías estaban localizadas principalmente en las áreas oeste y suroeste del vertedero, extendiéndose un año más tarde a lo largo de los flancos oeste y suroeste del vertedero, y hacia la parte central del mismo.

En la Figura 3.38 se presenta la distribución espacial de la emisión biogénica No controlada de CH_4 en el vertedero de Arico durante el estudio realizado en 2005. Se midieron valores de emisión difusa de CH_4 en cinco de los treinta dos puntos de observación estudiados, localizados en los flancos del vertedero de Arico. Los valores de flujo difuso de CH_4 variaron entre no detectados y 71,17 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de 5,21 $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Aunque la mayor parte del

vertedero presenta valores de emisión difusa de CH_4 inferiores a $1 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, las áreas de mayor actividad emitida destacan por presentar niveles de emisión de CH_4 superiores a $7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

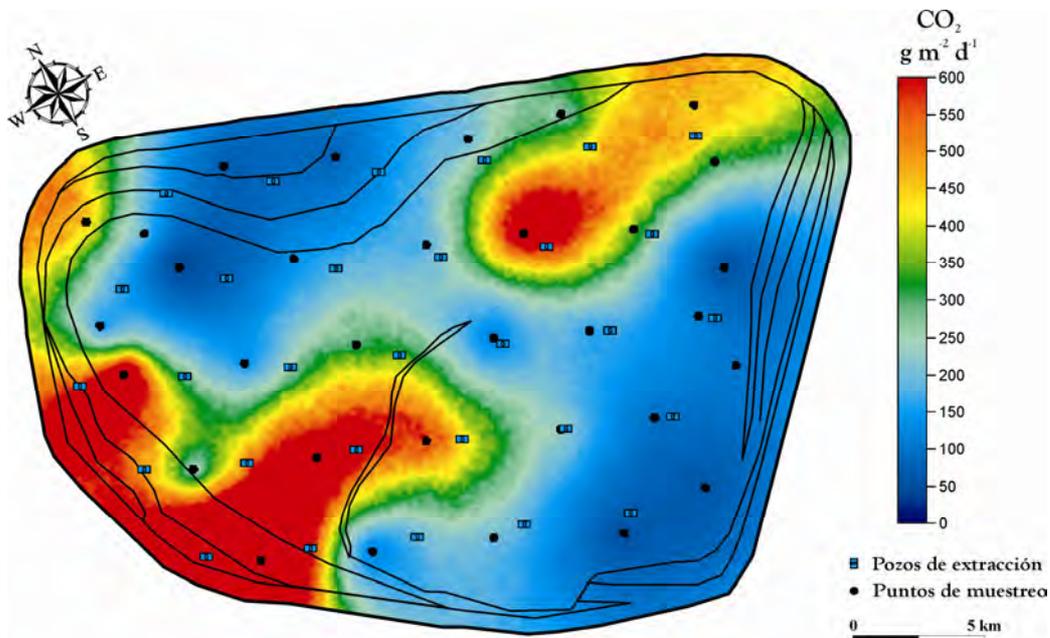


Figura 3.37.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CO_2 a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

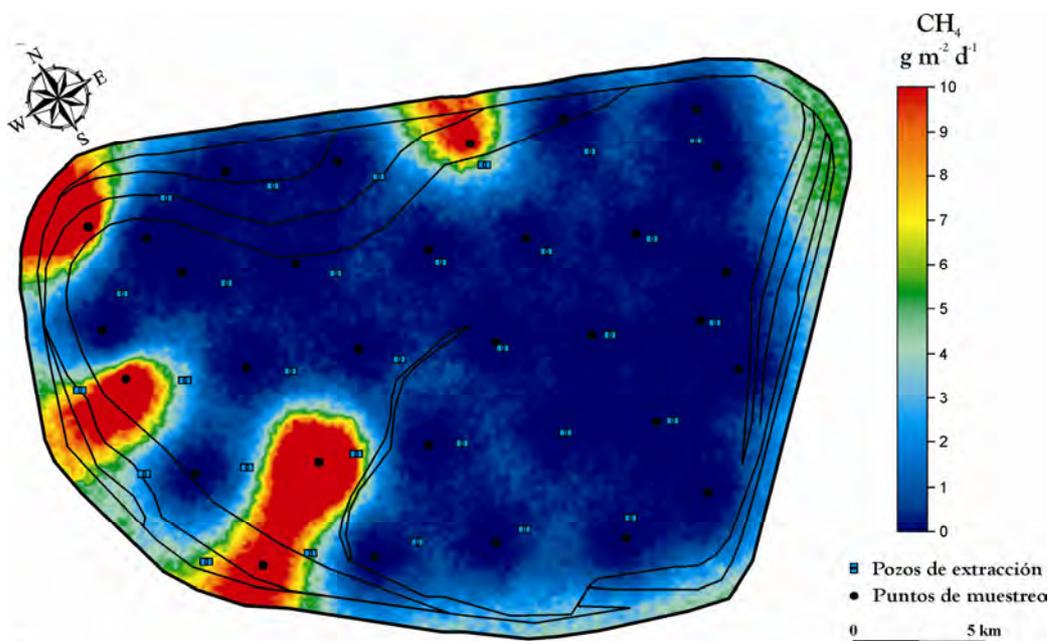


Figura 3.38.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CH_4 a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005.

En el periodo de estudio de 2004 se observaba una única región anómala situada en el flanco oeste del vertedero de Arico, en el estudio realizado en 2005 aparece dicha anomalía junto a otras de nueva aparición.

En general, las principales anomalías de emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados observadas durante la campaña realizada en el vertedero de Arico en 2005, se localizaron nuevamente en el área este y suroeste del vertedero. Encontramos en ambas zonas anomalías de tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados y COVs totales. En estas áreas también encontramos las principales anomalías de emisión No-controlada de CO₂. Las principales anomalías de CH₄ se han localizado en el área suroeste del vertedero coincidiendo con las anomalías de benceno. En esta área del vertedero las anomalías de emisión biogénica No-controlada parecen distribuirse en dos núcleos bien diferenciados de emisión para ciertas especies estudiadas.

En la Tabla 3.2 y 3.3 se representa un resumen de la estadística descriptiva de los resultados obtenidos en los estudios de emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados, CO₂ y CH₄, realizados en el vertedero de Arico durante 2004 y 2005.

En la Tabla 3.4 se muestra el cómputo de la emisión total No-controlada a la atmósfera de COVs no metanizados por el vertedero de Arico durante los años 2004 y 2005. Los resultados obtenidos reflejan que el vertedero de Arico en el año 2004 emitía diariamente a la atmósfera 0,0017 Kg d⁻¹ de benceno de forma No-controlada a través de la cobertera superficial. Este valor es considerablemente inferior al obtenido en 2005, 1,72 Kg·d⁻¹ de benceno. Respecto al tolueno, los valores de emisión No-controlada estimados fueron muy similares para 2004 y 2005, de 2,17 y 2,70 Kg·d⁻¹, respectivamente. La emisión diaria de etilbenceno a la atmósfera en 2004 y 2005 se cuantificó en 0,38 y 0,15 Kg d⁻¹, respectivamente, mientras que la emisión No-controlada de m+p xilenos a la atmósfera fue de 0,63 y 0,43 Kg·d⁻¹ en 2004 y 2005, respectivamente.

Tabla 3.2. Resumen estadístico de los resultados obtenidos del estudio de emisión difusa biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante 2004.

Compuestos	Máximo	Mínimo	Promedio	Desv Std
Benceno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	0,60	0	0,05	0,13
Tolueno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	698,80	0	30,80	128,24
Etilbenceno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	165,28	0	7,26	30,30
m+p xileno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	257,38	0	11,01	46,95
o-xileno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	379,64	0	13,98	69,12
BTEX ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	1501,10	0	63,09	274,14
Radicales bencénicos ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	329,91	0	21,19	67,58
Hidrocarburos aromáticos no halogenados ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	2256,64	0	95,97	412,29
Hidrocarburos halogenados ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	101,69	0	6,18	20,09
CFC ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	97,79	0	4,17	18,03
COVs totales ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	2270,06	0	102,15	416,57
CO ₂ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	676,45	4,19	184,72	134,30
CH ₄ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	54,67	0	4,00	2,37

Respecto al o-xileno, presentó una emisión a la atmósfera de 0,87 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ y 0,48 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para los estudios realizados en 2004 y 2005, respectivamente. Los niveles de emisión de m+p xileno y o-xileno determinados en la campaña realizada en el vertedero de Arico en 2004 son ligeramente superiores a los registrados un año más tarde. 4,06 $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$ y 6,27 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ son los valores de emisión a la atmósfera de BTEX registrados en el vertedero de Arico durante los años 2004 y 2005, respectivamente.

Tabla 3.3. Resumen estadístico de los resultados obtenidos del estudio de emisión difusa biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante 2005.

Compuestos	Máximo	Mínimo	Promedio	Desv Std
Benceno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	1934,43	0	60,92	341,89
Tolueno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	1102,98	0	45,98	193,30
Etilbenceno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	18,24	0	2,32	3,57
m+p xileno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	158,53	0	7,39	27,71
o-xileno ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	179,21	0	7,41	31,47
BTEX ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	3375,15	0	124,02	593,56
Radicales bencénicos ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	280,57	0	13,15	49,09
Hidrocarburos aromáticos no halogenados ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	4693,54	0	167,43	826,18
Hidrocarburos halogenados ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	92,42	0	4,07	16,72
CFC ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	14,13	0	0,72	2,71
COVs totales ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	4785,96	0	171,50	842,33
CO ₂ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	2665,21	33,06	342,00	534,35
CH ₄ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	71,17	0	5,21	16,74

Como podemos observar los niveles de emisión diaria de BTEX son superiores en el estudio realizado en 2005. La emisión diaria de Radicales bencénicos a la atmósfera para los años 2004 y 2005 han sido de 1,21 y 0,82 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. Estos valores determinados en 2004 son ligeramente superiores a los detectados en 2005. Para el caso de estudio de los Hidrocarburos aromáticos no halogenados los niveles de emisión biogénica No-controlada a la atmósfera han sido de 5,95 y 8,41 $\text{Kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para los años 2004 y 2005. Los niveles

de Hidrocarburos aromáticos no halogenados han sido superiores en la campaña realizada en el año 2005. Los resultados obtenidos para los Hidrocarburos halogenados reflejan que el vertedero de Arico en el año 2004 emitía diariamente a la atmósfera 0,32 kg·d⁻¹ de hidrocarburos halogenados de forma No-controlada a través de la cobertera superficial del vertedero de Arico. En el año 2005 estos niveles de emisión se han reducido considerablemente obteniéndose valores de emisión No-controlada de 0.09 kg·d⁻¹ de hidrocarburos halogenados.

Tabla 3.4. Emisión biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante los estudios realizados en 2004 y 2005.

Compuestos	Arico 2004	Arico 2005
Benceno (Kg·d ⁻¹)	0,0017	1,72
Tolueno (Kg·d ⁻¹)	2,17	2,70
Etilbenceno (Kg·d ⁻¹)	0,38	0,15
m+p xileno (Kg·d ⁻¹)	0,63	0,43
o-xileno (Kg·d ⁻¹)	0,87	0,48
BTEX (Kg·d ⁻¹)	4,06	6,27
Radicales bencénicos (Kg·d ⁻¹)	1,21	0,82
Hidrocarburos aromáticos no halogenados (Kg·d ⁻¹)	5,95	8,41
Hidrocarburos halogenados (Kg·d ⁻¹)	0,32	0,09
CFC (Kg·d ⁻¹)	0,13	0,01
COVs totales (Kg·d ⁻¹)	6,36	8,89
CO ₂ (T·d ⁻¹)	12,74	20,55
CH ₄ (T·d ⁻¹)	0,06	0,14

Para los CFC ha ocurrido algo similar, los niveles de emisión diaria a la atmósfera desde la cobertera mineral del vertedero de Arico han sido de 0,13 Kg·d⁻¹ para el año 2004 frente a los 0,01 Kg d⁻¹ registrados un año más tarde. Los niveles emisión biogénica No-controlada a la atmósfera para los COVs han sido determinados durante el estudio realizado en 2004 en 6,36 Kg·d⁻¹, valor inferior al registrado en 2005 que fue de 8,89 Kg·d⁻¹ respectivamente. Por último comentar la emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de CO₂ y CH₄ que fue determinada en 2004 en 12,74 y 0,06 t·d⁻¹, respectivamente. Estos valores han sido prácticamente el doble para los detectados para el CO₂ y CH₄ en 2005 que fueron de 20,55 y 0,14 t·d⁻¹, respectivamente.

3.3.2 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto

El vertedero de Lazareto está situado en la zona de Cabo Llanos en Santa Cruz de Tenerife. Debe su nombre al edificio llamado Lazareto que fue construido en el siglo XVIII, y que se utilizó en principio como hospital, y a posteriori, se convirtió en un Lazareto de observación que defendió la ciudad de Santa Cruz de Tenerife de las muchas epidemias que la azotaron. En 1911 y una vez demolido el edificio del Lazareto, se utilizó esta zona como lugar donde se realizaban pequeños vertidos de manera incontrolada, hasta que posteriormente se convirtió en vertedero insular. Las fechas en que comenzó a utilizarse como vertedero insular no están claras, siendo clausurado en 1980. Este vertedero no fue construido conforme un diseño previamente establecido; en él se vertían indistintamente toda clase de residuos sin ningún orden previo. Se depositaban residuos domésticos, materiales inertes como escombros, materiales de construcción, vehículos, etc., y los huecos que quedaban en el terreno se iban cubriendo con distintos tipo de materiales para proporcionar una cierta estabilidad mecánica al vertedero.

El vertedero de Lazareto consiste en un montículo irregular que alcanza en su punto más alto 42 metros de altura y ocupa una superficie de 122000 m². Parte de esta superficie ha sido ganada al mar y está protegida de los efectos del

oleaje debido a la creación de una escollera de protección que lo rodea en su totalidad. El vertedero de Lazareto carece de matriz geológica aislante en su base, hecho preocupante debido a la posible fuga de lixiviados al mar. Por el contrario, para el control de las emisiones de gases en el vertedero se encuentra operativo un sistema de extracción de gases desde 1998 (Figura 3.39). Actualmente este vertedero se ha convertido en un “Palmetum”, un jardín temático de Palmeras de todo el mundo.



Figura 3.39.- Imagen de uno de los pozos del sistema de extracción de biogás del vertedero de Lazareto.

En la Figura 3.40 se muestra la distribución espacial de la emisión No-controlada de benceno en el vertedero de Lazareto durante la campaña realizada en el año 2005. Durante este periodo de estudio los niveles de emisión No-controlada de benceno variaron entre valores no detectables y $23,96 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de emisión difusa de $0,81 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el mapa de distribución espacial de benceno se puede observar como las áreas con mayor actividad del vertedero se localizan al norte del mismo. A pesar de que las dos

principales anomalías de emisión biogénica No-controlada de benceno se han registrado al noreste y noroeste del vertedero de Lazareto, se aprecia también una pequeña zona anómala al sur. Estas zonas de máxima emisión de benceno a la atmósfera a través de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto se caracterizan por presentar valores de emisión superiores a $1,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El resto del vertedero presenta valores de emisión No-controlada de benceno inferiores a $0,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

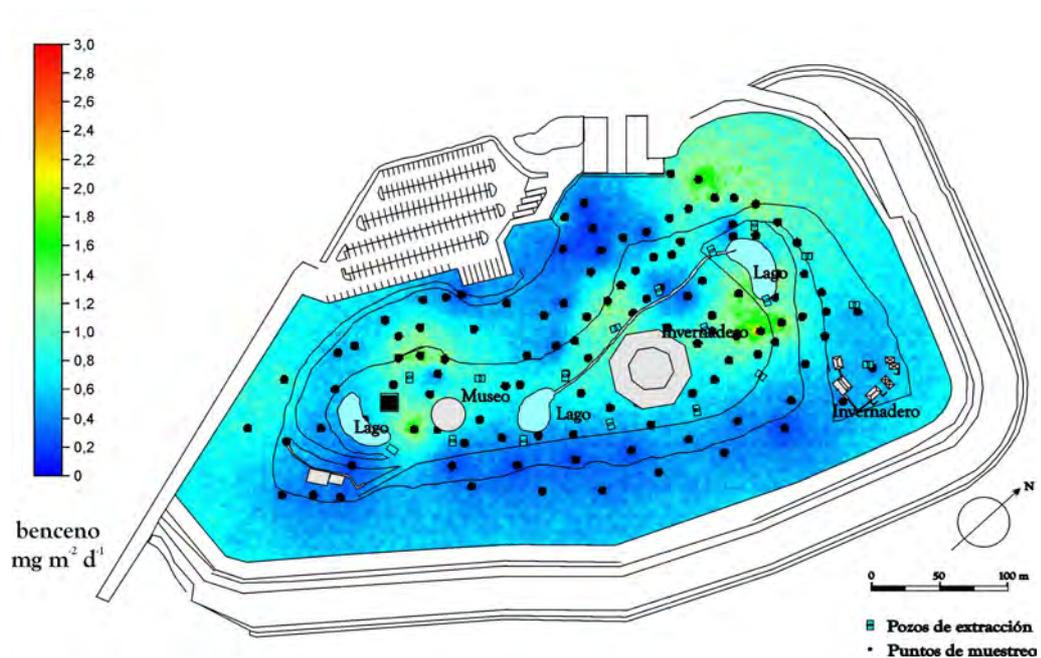


Figura 3.40.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de benceno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

Respecto al estudio de emisión biogénica No-controlada de tolueno en 2005, los valores de emisión variaron entre no detectados y $1973,84 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $50,36 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.41 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa biogénica No-controlada de tolueno en la cobertera superficial del vertedero de Lazareto. Las áreas donde encontramos las principales anomalías de este COVs no metanizado están localizadas al norte y centro del vertedero. Estas áreas anómalas presentan niveles de emisión biogénica No-controlada de tolueno superiores a los $63 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que en el resto del vertedero los valores son inferiores a $28 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

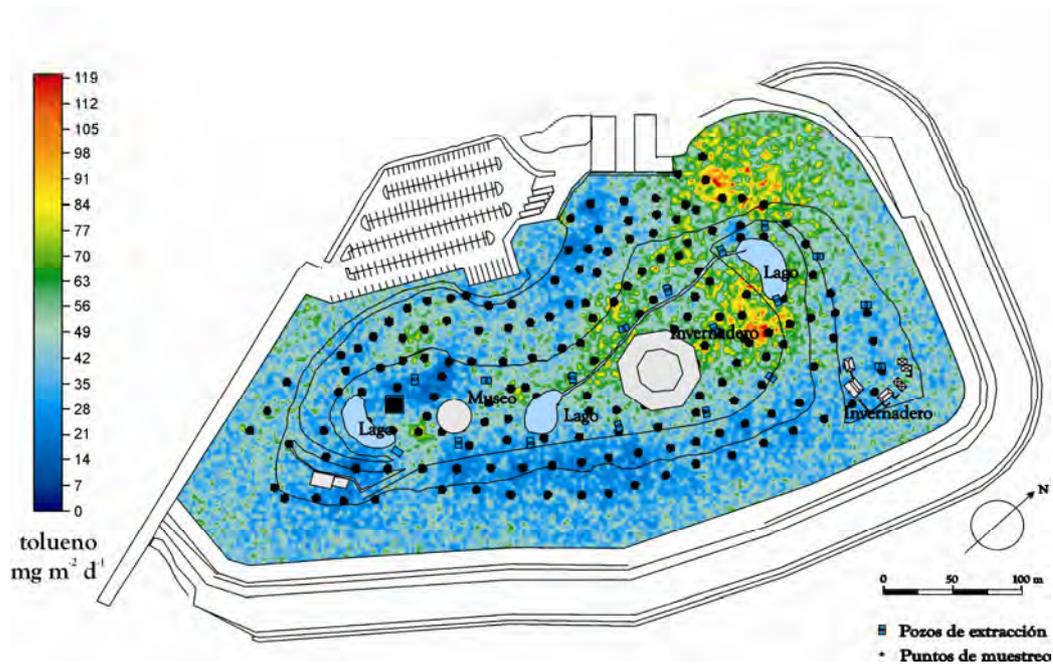


Figura 3.41. Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de tolueno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

En el estudio de la emisión biogénica No-controlada de etilbenceno a través de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto, los valores de emisión variaron entre no detectables y $193,26 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $5,24 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

En la Figura 3.42 se muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlados de etilbenceno en el vertedero de Lazareto. La mayor parte de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto presenta valores de emisión inferiores a $4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, registrándose valores superiores a $9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ de etilbenceno en las principales áreas anómalas del vertedero. Estas zonas de mayor emisión de etilbenceno están localizadas en la zona norte del vertedero, y más concretamente se entienden desde el flanco noroeste al noreste. También encontramos áreas anómalas al sur del vertedero de Lazareto.

El valor máximo de emisión biogénica No-controlada determinado para el m+p xileno en el vertedero de Lazareto durante el 2005 fue $54,44 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que los valores mínimos estaban por debajo del límite de detección del

instrumento. El valor promedio de emisión a través de la cobertera mineral durante este periodo de estudio fue de $1,33 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.43 se puede observar el mapa de distribución espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlada de m+p xileno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto.

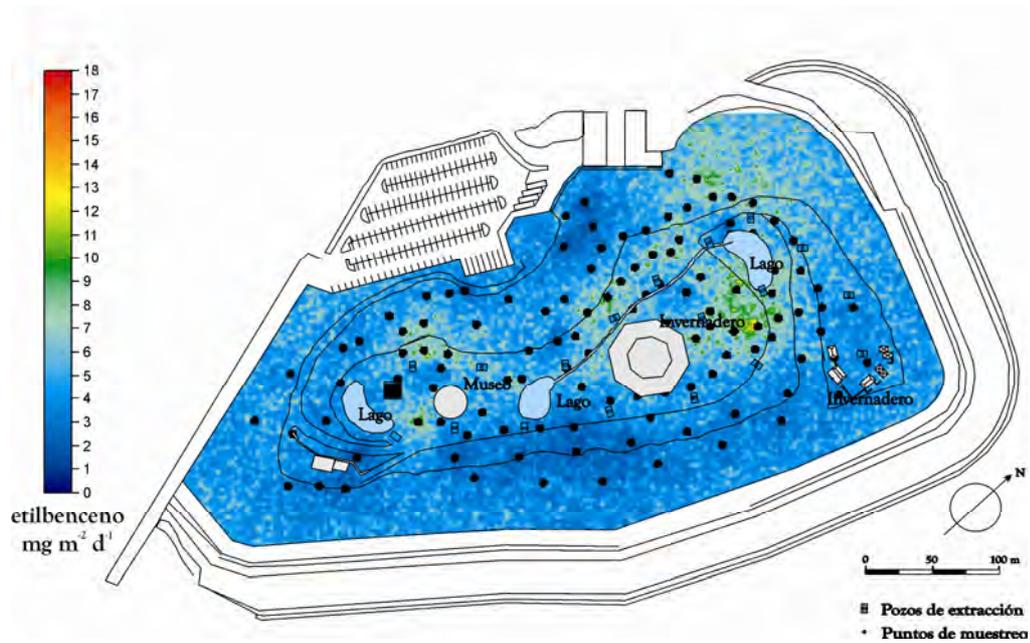


Figura 3.42.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de etilbenceno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

En general, la emisión de m+p xileno es muy homogénea a lo largo de toda la superficie del vertedero, con valores de emisión difusa de m+p xileno inferiores a $1,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que en las zonas nor-noroeste y en la zona sur del vertedero se observan valores de emisión de m+p xileno superiores a $1,8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

En la Figura 3.44 se muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto. A diferencia del mapa de distribución espacial de m+p xilenos (Figura 3.43), en el de o-xilenos destacan claramente dos áreas anómalas dentro del vertedero y localizadas en las zonas central y noroeste del mismo con valores superiores a 3

$\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el resto de la cobertera del vertedero de Lazareto presenta niveles de emisión No-controlada inferiores a $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

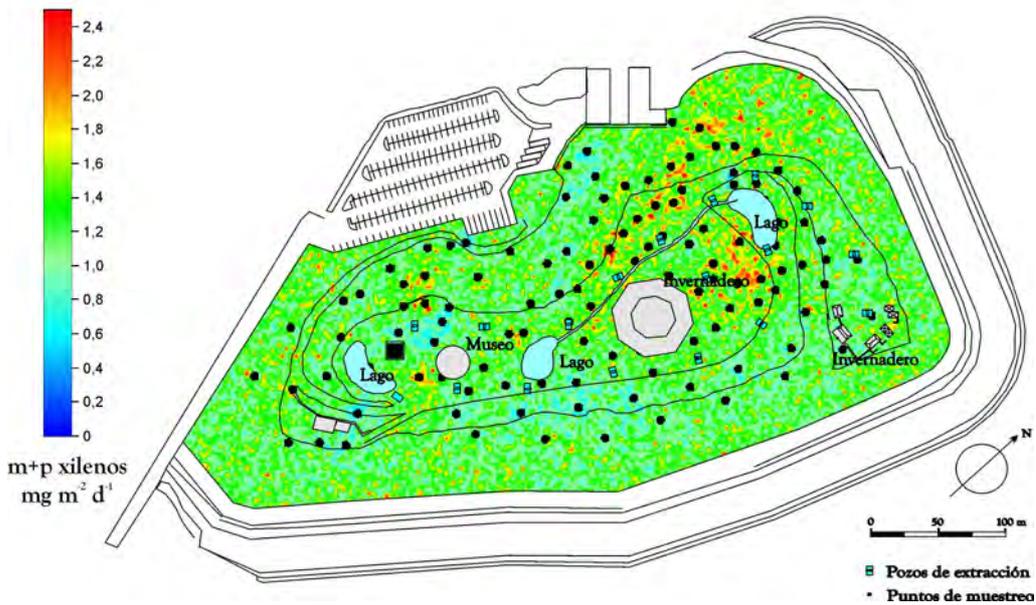


Figura 3.43.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de m+p xilenos a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

Los niveles promedio de emisión biogénica No-controlada de o-xileno similares a los registrado para los m+p xilenos, es decir, niveles de emisión de $1,34 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los valores de emisión biogénica de o-xileno determinados en el vertedero de Lazareto variaron entre no detectables por el instrumento de medida y $43,55 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Valores máximos también similares a los registrados para la emisión biogénica No-controlada de m+p xileno a la atmósfera a través de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto.

Durante el estudio realizado en el vertedero de Lazareto en el año 2005 también se cuantificó la emisión biogénica no-controlado de BTEX a la atmósfera. Los valores obtenidos variaron entre no detectables por el instrumento de medida y $2289,06 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.45 se observa como la mayor parte de la superficie del vertedero presenta niveles de emisión biogénica No-controlada de BTEX a la atmósfera inferiores a $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En este nuevo mapa de distribución espacial se aprecia claramente como las

principales áreas de emisión biogénica no-controlada de BTEX se encuentran localizadas principalmente en núcleos ubicados a lo largo de la cara norte del vertedero de Lazareto. Estas zonas de mayor emisión presentan niveles de emisión difusa de BTEX superiores a $100 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Como hemos venido observando hasta ahora, en el área norte del vertedero de Lazareto se encuentran las principales anomalías de COVs no metanizados.

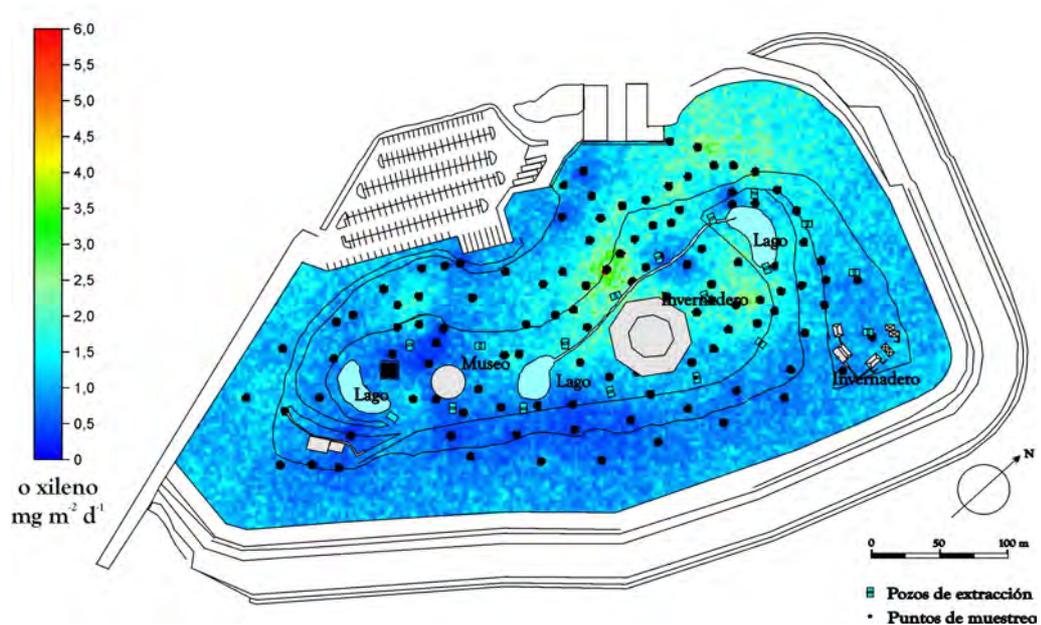


Figura 3.44.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de o-xileno a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

Es sin duda en el flanco norte del vertedero, justo detrás del lago norte y entre este lago y el invernadero, donde se observan las principales áreas anómalas de emisión. En esta extensa área ubicada al norte del vertedero es justamente donde se vertieron los últimos residuos sólidos urbanos antes de la clausura del vertedero.

Los valores obtenidos de emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de radicales bencénicos variaron entre no detectados por el instrumento de medida y $349,14 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de emisión biogénica No-controlada de radicales bencénicos de $20,69 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.46 podemos observar la distribución espacial de los niveles de emisión biogénica no-controlados de

radicales bencénicos en el vertedero de Lazareto. A diferencia de lo observado para el resto de los COVs no metanizados estudiados hasta el momento, la distribución espacial de radicales bencénicos se caracteriza por presentar valores máximos de emisión en el área central del vertedero, y más concretamente entre el lago central y el invernadero.

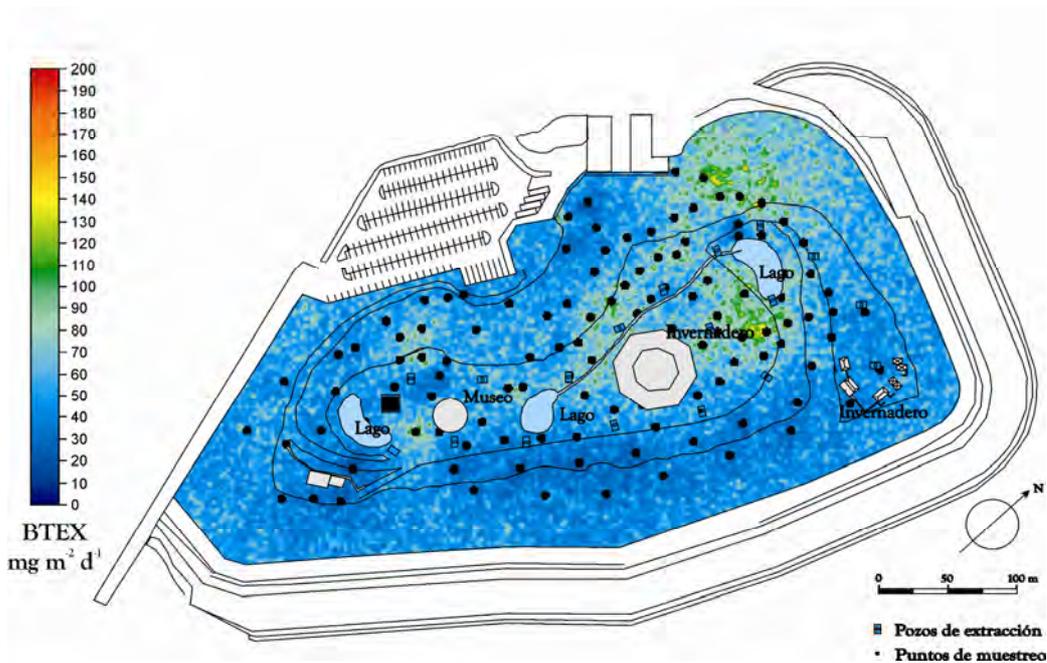


Figura 3.45.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de BTEX a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

Esta área anómala se caracteriza por presentar valores de emisión biogénica No-controlada de radicales bencénicos superiores a $60 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, presentando el resto del vertedero de Lazareto niveles de emisión biogénica no-controlados de radicales bencénicos inferiores a $36 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

Los valores de emisión de biogénica No-controlados de Hidrocarburos aromáticos no halogenados a lo largo de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto variaron entre no detectables por el instrumento de medida y $2482,16 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $75,90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. En la Figura 3.47 se muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de hidrocarburos aromáticos no halogenados. Se observa como la mayor parte del vertedero presenta valores de fondo de emisión biogénica No-

controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados, es decir, valores de emisión inferiores a $80 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las principales áreas que presentaron valores altos de emisión se localizan en el área central del mismo y en la zona norte del vertedero, donde tuvo lugar los últimos vertidos antes de la clausura de dicho vertedero. En las zonas de máxima emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados se midieron valores de emisión superiores a $180 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

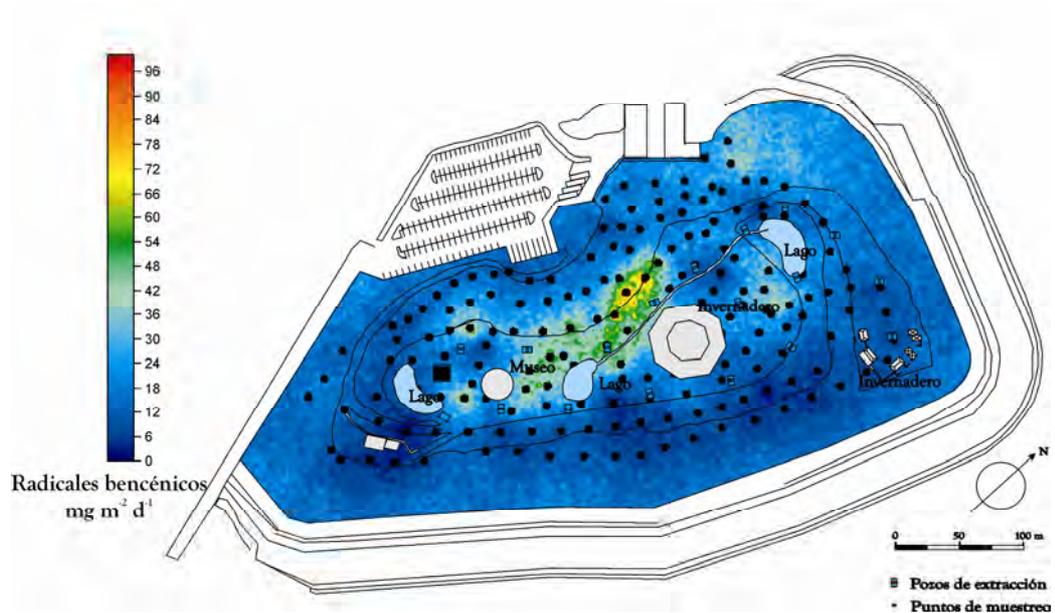


Figura 3.46.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

Este mapa de distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados parece representar bien las áreas anómalas observadas en los mapas de distribución espacial de BTEX (Figura 3.45) y radicales bencénicos (Figura 3.46), áreas norte y central del vertedero, respectivamente.

Los niveles de emisión biogénica No-controlados de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto también fueron determinados en este estudio realizado en el año 2005. Los valores de emisión variaron entre no detectados por el instrumento y $129,27 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $2,28 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.48 se presenta la distribución

espacial de los niveles de emisión biogénica No-controlados de hidrocarburos halogenados a través de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto. Se aprecia claramente como es el área sur del vertedero de Lazareto la que presenta los principales focos de emisión, estando caracterizadas por presentar valores de emisión superiores a $4,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el resto del vertedero presenta valores inferiores a $1,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

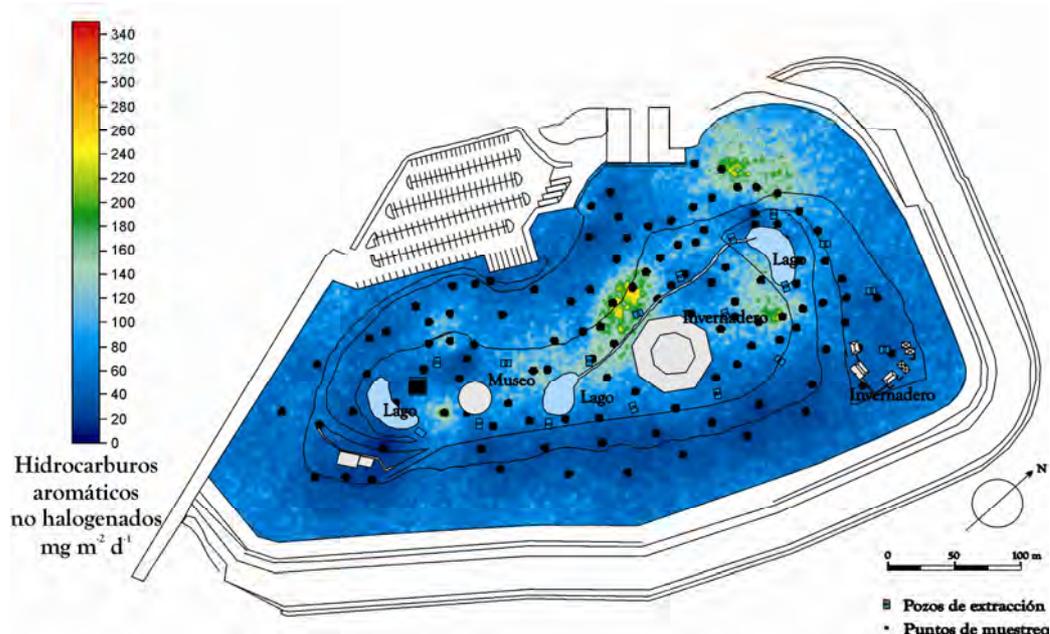


Figura 3.47.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

La distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de CFCs por la cobertera mineral del vertedero de Lazareto es muy similar a la observada para los hidrocarburos halogenados. En la Figura 3.49 podemos observar como las principales áreas anómalas se encuentran localizadas en el sur del vertedero de Lazareto. Estas áreas anómalas presentan niveles de emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de CFCs superiores a $5,0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, presentando el resto del vertedero valores inferiores a $0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los valores obtenidos de CFC variaron entre no detectados por en instrumento de medida y $17,89 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor medio de $0,17 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

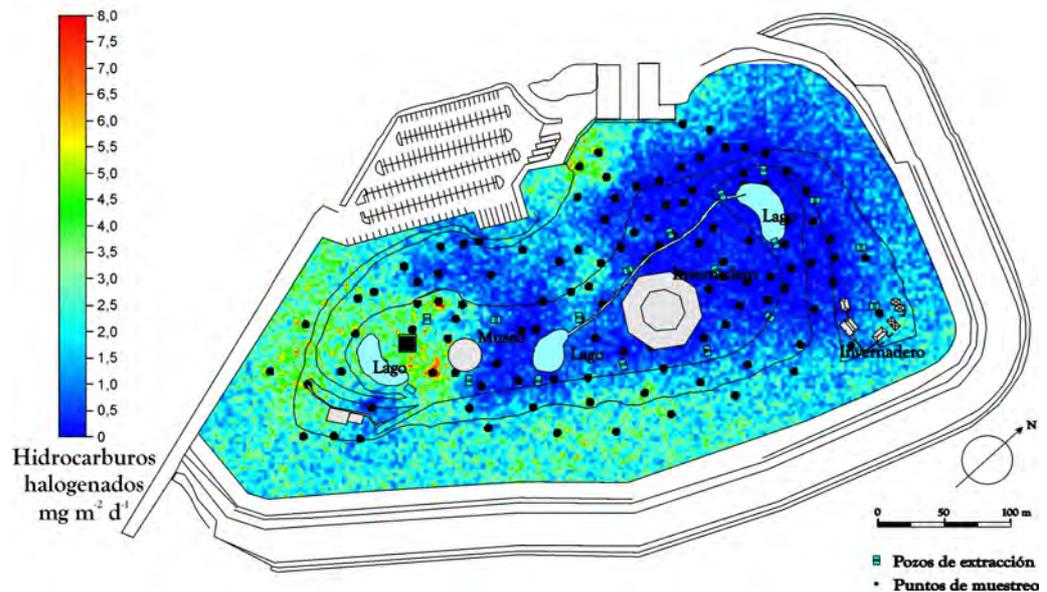


Figura 3.48.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

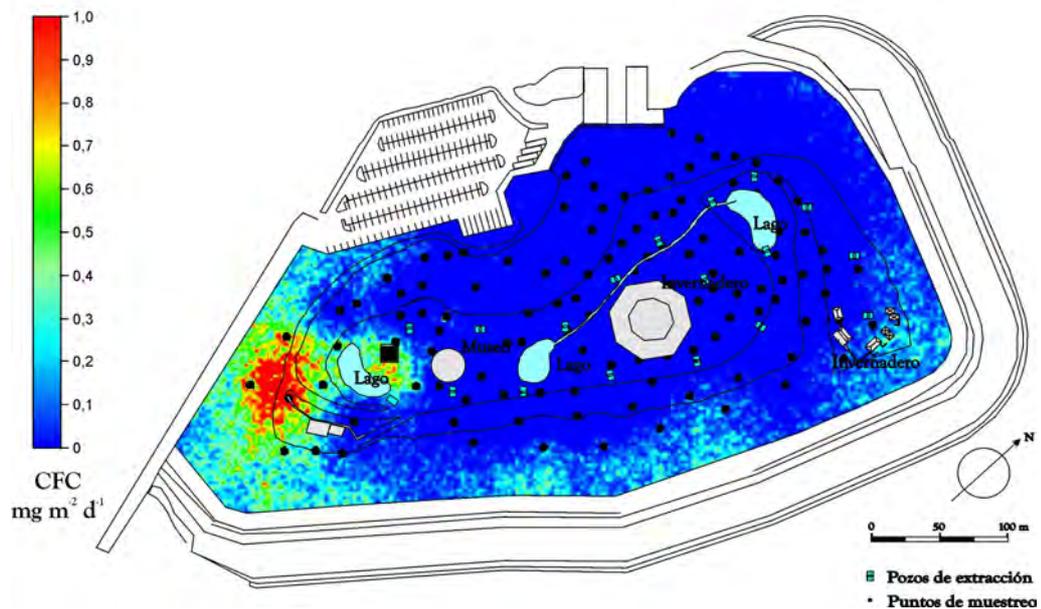


Figura 3.49.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CFC a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

En el estudio de la emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados a la atmósfera por la cobertera mineral del vertedero de Lazareto, se

estimaron valores que variaron entre no detectados por el instrumento de medida y $2611,43 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $78,19 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.50 se representa la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados a la atmósfera por el vertedero de Lazareto. La mayor parte del vertedero presenta niveles de emisión de COV no metanizados a la atmósfera inferiores a $60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, siendo la zona norte del vertedero, donde se realizaron los últimos vertidos, y la zona central del mismo donde encontramos las principales áreas de emisión. Estas áreas de mayor emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados destacan por presentar valores superiores a $135 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. El vertedero de Lazareto es un vertedero no operativo clausurado en 1980, pero hasta 1983 se realizaron vertidos ilegales en la zona nor-noroeste del vertedero. Esto puede explicar porqué en esta zona se localizan los principales focos de emisión no controlada de COVs.

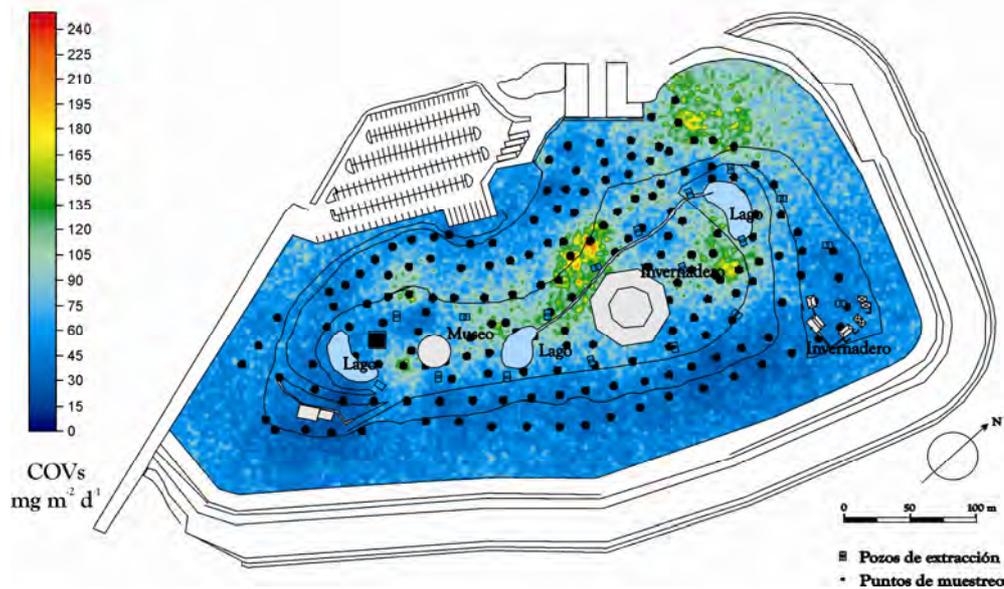


Figura 3.50.- Distribución espacial de la emisión biogénica "NO" controlada de COVs a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

En la Figura 3.51 se presenta la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de CO_2 a la atmósfera por el vertedero de Lazareto. Destacan tres

núcleos principales de emisión localizados en la zona noroeste, centro y suroeste del vertedero. Estas zonas se caracterizan por presentar niveles de emisión biogénica No-controladas de CO_2 superiores a los $120 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Estas zonas anómalas de emisión localizadas al norte y en la zona central del vertedero coinciden con las principales áreas anómalas encontradas en la emisión de COVs no metanizados. El resto del vertedero presenta niveles de emisión inferiores a $80 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Los resultados obtenidos de este estudio indican que los valores medidos de emisión biogénica No-controlada de CO_2 varían entre valores no cuantificables por el instrumento de medida y $2520,09 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con una valor promedio de $83,63 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

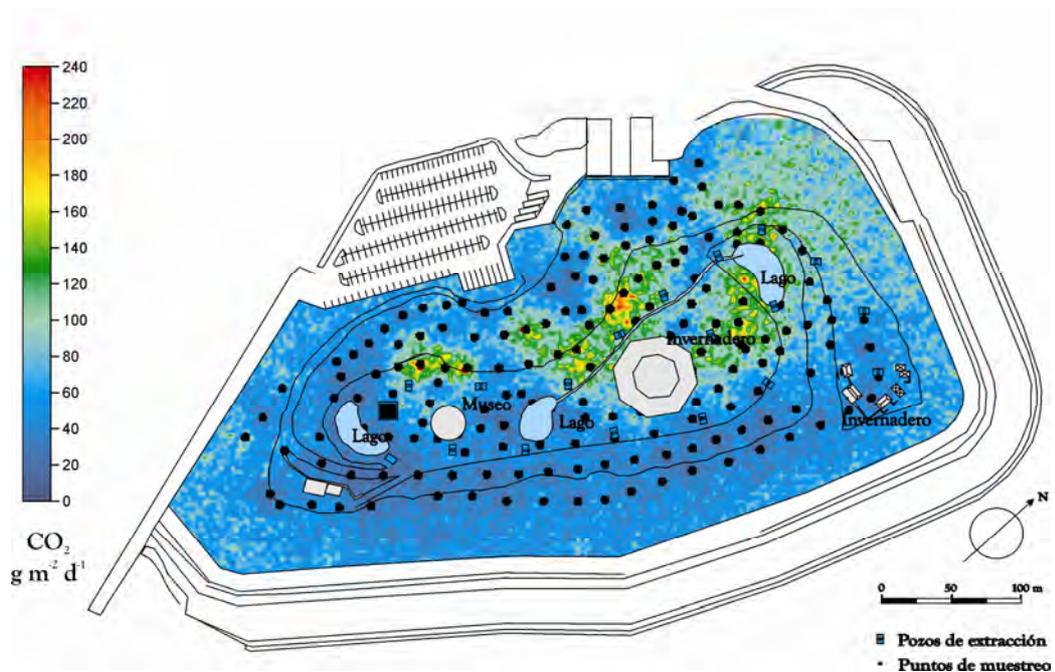


Figura 3.51. Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CO_2 a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

En el estudio de la emisión biogénica No-controlada de CH_4 a la atmósfera a través de la cobertera mineral del vertedero de Lazareto, los valores medidos variaron entre no detectables por el instrumento de medida y $630,05 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, con un valor promedio de $6,27 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En la Figura 3.52 se muestra la distribución espacial de la emisión biogénica No-controlada de CH_4 a la atmósfera. Las principales zonas anómalas de emisión se localizan en la zona

central del vertedero de Lazareto y en ciertas áreas muy puntuales localizadas en el flanco norte y sur del vertedero de Lazareto. Estas zonas anómalas se caracterizan por presentar niveles de emisión biogénica No-controlada de CH_4 superiores a $7 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, el resto del vertedero presenta niveles de emisión inferiores a $3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

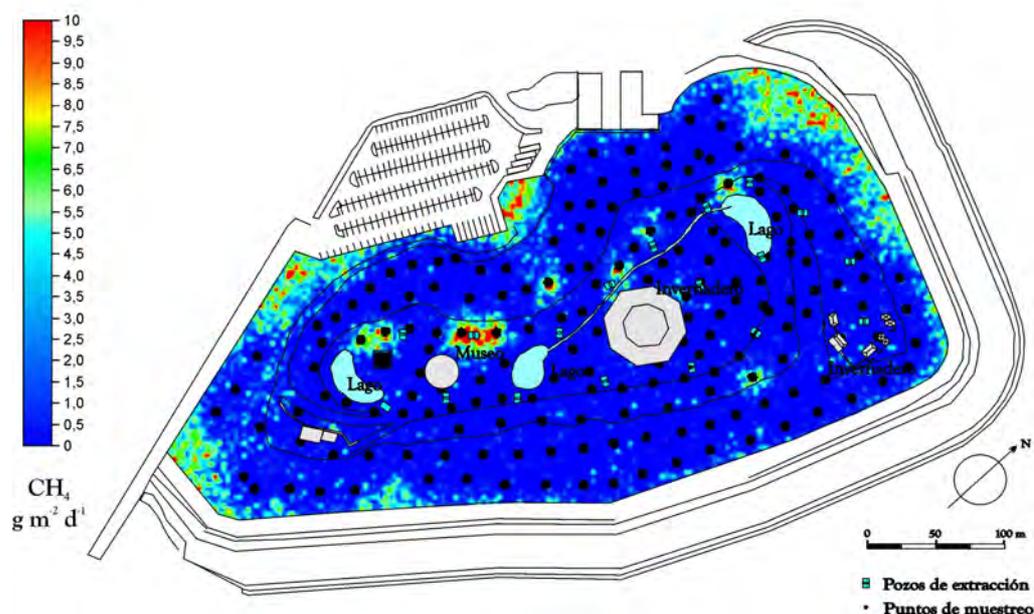


Figura 3.52.- Distribución espacial de la emisión biogénica “NO” controlada de CH_4 a la atmósfera por el vertedero de Lazareto en 2005.

En la Tabla 3.5 se representan los niveles de emisión biogénica No-controlada de COVs no metanizados, CO_2 y CH_4 determinados en el vertedero de Lazareto durante la campaña realizada en 2005.

En la Tabla 3.6 se presenta la emisión biogénica No-controlada controlada a la atmósfera de los COVs no metanizados por los vertederos de Lazareto durante el estudio realizado en 2005 y Arico durante los años 2004 y 2005. Los resultados obtenidos reflejan que el vertedero de Arico en el año 2004 y 2005 emitía diariamente a la atmósfera $0,0017$ y $1,72 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ de benceno, respectivamente, de forma No-controlada a través de su cobertera superficial. Los valores determinados para el benceno en el estudio realizado en el vertedero de Lazareto muestran niveles de emisión biogénica diaria No-controlada a la

atmósfera es de 0,02 kg·d⁻¹, valor considerablemente inferior al estimado para el vertedero de Arico en 2005, y algo superior al estimado en 2004.

Tabla 3.5. Emisión biogénica No-controlada en el vertedero de Lazareto durante el periodo de estudio realizado en 2005.

Compuestos	Máximo	Mínimo	Promedio	Desv Std
Benceno (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	23,96	0	0,81	2,30
Tolueno (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	1973,84	0	50,36	180,95
Etilbenceno (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	193,26	0	5,24	17,75
m+p xileno (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	54,44	0	1,33	4,94
o-xileno (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	43,55	0	1,34	4,29
BTEX (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	2289,06	0	59,08	209,68
Radicales bencénicos (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	349,14	0	20,60	54,50
Hidrocarburos aromáticos no halogenados (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	2482,16	0	75,90	231,81
Hidrocarburos halogenados (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	129,27	0	2,28	13,96
CFC (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	17,89	0	0,17	1,61
COVs totales (mg·m ⁻² ·d ⁻¹)	2611,43	0	78,19	243,26
CO ₂ (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	2520,09	0	83,63	274,09
CH ₄ (g·m ⁻² ·d ⁻¹)	630,05	0	6,27	49,46

Respecto al tolueno, las estimaciones de las emisiones diarias No-controladas a la atmósfera por el vertedero de Arico para los años 2004 y 2005 fueron de 2,17 y 2,70 kg·d⁻¹, respectivamente. Ambos valores de emisión de tolueno son muy similares, aunque ligeramente superiores al estimado para el vertedero de Lazareto en el año 2005 (1,23 kg·d⁻¹). La emisión diaria a la atmósfera de etilbenceno por el vertedero de Arico para los años 2004 y 2005 se cuantificó en 0,38 y 0,15 kg·d⁻¹, respectivamente, valores muy similares al estimado para el

vertedero de Lazareto en 2005, $0,13 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$. La emisión No-controlada de m+p xilenos a la atmósfera fue de $0,63 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para el estudio realizado en el vertedero de Arico durante 2004, mientras que para el año 2005 fue de $0,43 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$. En el vertedero de Lazareto se estimó la emisión No-controlada de m+p xilenos a la atmósfera en $0,03 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, valor un orden de magnitud inferior a los estimados para las dos campañas del vertedero de Arico. El o-xileno presentó una emisión diaria a la atmósfera de $0,87$ y $0,48 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para los estudios realizados en el vertedero de Arico en 2004 y 2005, mientras que para el vertedero de Lazareto la emisión estimada para este compuesto fue de $0,03 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, un orden de magnitud inferior. Respecto a la estimación de la emisión diaria de BTEX en el vertedero de Arico en 2004 y 2005 ($4,06$ y $6,27 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$), los valores obtenidos son algo superiores pero del mismo orden de magnitud al estimado para el vertedero de Lazareto ($1,47 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$). En el caso de la emisión de radicales bencénicos a la atmósfera por el vertedero de Arico durante los años 2004 y 2005, los valores obtenidos fueron de $1,21$ y $0,82 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. Estos valores son superiores al estimado para el vertedero de Lazareto en 2005, $0,51 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, aunque también del mismo orden de magnitud si los comparamos con el de Arico en 2005. Para el caso de estudio de los hidrocarburos aromáticos no halogenados, la emisión biogénica No-controlada a la atmósfera estimada fue de $5,95$ y $8,41 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para los años 2004 y 2005. Los niveles de hidrocarburos aromáticos no halogenados fueron superiores a los determinados en la campaña realizada en Lazareto en el año 2005 ($1,87 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$). Como comentamos en los resultados obtenidos para los hidrocarburos halogenados en el vertedero de Arico en el año 2004, vemos que este vertedero emitía diariamente a la atmósfera $0,32 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ de hidrocarburos halogenados de forma No-controlada a través de la cobertera superficial del vertedero de Arico. En el año 2005 estos niveles de emisión se redujeron considerablemente pasando a valores de emisión No-controlada de $0,09 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$, valor dentro del mismo orden de magnitud que el determinado en Lazareto en 2005 ($0,04 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$). Los niveles de emisión diaria a la atmósfera de CFCs por el vertedero de Arico fueron estimados en $0,13 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para el año 2004 y $0,01 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ para el año 2005. Estos valores de emisión fueron

considerablemente superiores al cuantificado en el vertedero de Lazareto en 2005 (0,002 kg·d⁻¹). La emisión biogénica No-controlada a la atmósfera para los COVs fue estimada en 6,36 kg·d⁻¹ para el estudio realizado en 2004, mientras que para el año 2005 fue de 8,89 kg·d⁻¹, respectivamente, mientras que la emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de COVs por el vertedero de Lazareto en 2005 se estimó en 1,91 kg·d⁻¹, valor inferior a los registrados en las campañas realizadas en Arico. Por último indicar que las emisiones biogénicas No-controladas a la atmósfera de CO₂ y CH₄ estimadas en 2004 fueron de 12,74 y 0,06 t·d⁻¹, respectivamente, mientras que para el año 2005 fueron de 20,55 y 0,14 t·d⁻¹, respectivamente. Respecto al vertedero de Lazareto las emisiones biogénicas No-controladas de CO₂ y CH₄ se estimaron en 1,82 y 0,02 t·d⁻¹, respectivamente, siendo considerablemente inferiores a los medidos en el vertedero de Arico.

Tabla 3.6. Emisión biogénica No-controlada en el vertedero de Arico durante el periodo de estudio realizado en 2004 y 2005 y en el vertedero de Lazareto durante el periodo de estudio realizado en 2005.

Compuestos	Arico 2004	Arico 2005	Lazareto 2005
Benceno (kg·d ⁻¹)	0.0017	1.72	0.02
Tolueno (kg·d ⁻¹)	2.17	2.70	1.23
Etilbenceno (kg·d ⁻¹)	0.38	0.15	0.13
m+p xileno (kg·d ⁻¹)	0.63	0.43	0.03
o-xileno (kg·d ⁻¹)	0.87	0.48	0.03
BTEX (kg·d ⁻¹)	4.06	6.27	1.47
Radicales bencénicos (kg·d ⁻¹)	1.21	0.82	0.51
Hidrocarburos aromáticos no halogenados (kg·d ⁻¹)	5.95	8.41	1.87
Hidrocarburos halogenados (kg·d ⁻¹)	0.32	0.09	0.04
CFC (kg·d ⁻¹)	0.13	0.01	0.002
COVs totales (kg·d ⁻¹)	6.36	8.89	1.91
CO ₂ (t·d ⁻¹)	12.74	20.55	1.82
CH ₄ (t·d ⁻¹)	0.06	0.14	0.02

En la Tabla 3.7 se presenta la emisión anual de COVs no metanizados por Km² en los vertederos de Lazareto y Arico durante los años de estudio. Los resultados obtenidos reflejan que el vertedero de Arico en el año 2004 y 2005 emitía a la atmósfera 13,8 y 13951,1 Kg·a⁻¹·Km² de benceno, respectivamente. Los niveles de emisión de benceno en el vertedero de Lazareto han sido de 59,8

$\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$. Las estimaciones de las emisiones de tolueno en Arico para los años 2004 y 2005 fueron de 17601,1 y 21900,0 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$, un orden de magnitud superior a las determinadas para el vertedero de Lazareto en el año 2005 (3679,9 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$). La emisión a la atmósfera de etilbenceno fue de 3082,2 y 1216,7 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para el vertedero de Arico para los años 2004 y 2005, valores ligeramente superiores al estimado para el vertedero de Lazareto en 2005, 388,9 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$. La emisión No-controlada de m+p xilenos a la atmósfera fue de 5110,0 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para Arico 2004, 3487,8 $\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para el año 2005 y 89,8 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para Lazareto 2005. Para los estudios realizados en el vertedero de Arico en 2004 y 2005 la emisión de o-xileno a la atmósfera es de 7056,7 y 3893,3 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$, mientras que para el vertedero de Lazareto la emisión estimada para este compuesto fue de 89,8 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$, dos ordenes de magnitud inferior al igual de para los valores obtenidos en el m+p xilenos. Las emisiones de BTEX en el vertedero de Arico en 2004 y 2005 (32931,1 y 50856,7 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$), son un orden de magnitud superior a la estimada para el vertedero de Lazareto (4398,9 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$). En el vertedero de Arico la emisión de radicales bencénicos de 2004 y 2005 fue de 9814,4 y 6651,1 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$, respectivamente. Valores dentro del mismo orden de magnitud al estimado para el vertedero de Lazareto en 2005, 1525,8 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$. La emisión biogénica No-controlada de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera estimada fue de 48261,1 y 68214,4 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para los años 2004 y 2005, tasas de emisión por Km^2 superiores a los determinados en la campaña realizada en Lazareto en 2005 (5594,7 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$). Los resultados obtenidos para los hidrocarburos halogenados en el vertedero de Arico en el año 2004 han sido de 2595,6 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$. En el año 2005 estos niveles de emisión se redujeron considerablemente pasando a valores de emisión No-controlada de 730,0 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$, valor dentro del mismo orden de magnitud que el determinado en Lazareto en 2005 (119,7 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$). Los niveles de emisión a la atmósfera de CFCs por el vertedero de Arico han sido estimados en 1054,4 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para el año 2004 y 81,01 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$ para el año 2005. Valores muy superiores al cuantificado en el vertedero de Lazareto en 2005 (6,0 $\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^2$). La emisión

biogénica No-controlada a la atmósfera para los COVs en la campaña realizada en Arico 2004 fue estimada en $51586,7 \text{ Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^{-2}$, para el año 2005 fue de $72107,8 \text{ Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^{-2}$, mientras que la emisión biogénica No-controlada a la atmósfera de COVs por el vertedero de Lazareto en 2005 se estimó en $5714,3 \text{ Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^{-2}$.

Las diferencias observadas entre los valores estimados de emisión No-controlada de COVs en el vertedero de Lazareto y el de Arico, se deben principalmente a que el vertedero de Arico es un vertedero operativo donde los residuos sólidos urbanos están en sus primeras etapas de degradación y, en consecuencia, la liberación de COVs es mayor. Young & Parker (1983) demostraron que el biogás tomado en zonas de vertederos que contienen residuos domésticos recientes presentan un amplio rango de COVs, mientras que en aquellos donde el biogás se genera desde residuos domésticos maduros, los hidrocarburos predominantes son los hidrocarburos ligeros (etano, propano, etc.). Knox (1990) afirmó que el predominio de niveles traza de alcanos y compuestos aromáticos en el biogás se asocia a residuos viejos. Conociendo la fase en la que se encuentra la degradación de los residuos sólidos urbanos, se podría determinar el origen de los COVs analizados.

En este estudio se observan claramente las diferencias de emisión No-controlada entre un vertedero operativo como es el caso del vertedero de Arico y un vertedero clausurado como es el vertedero de Lazareto. Reinhart (1993) enunció la posibilidad de que la presencia de cantidades traza de compuestos orgánicos volátiles en el biogás de los vertederos puede estar asociada a la presencia de residuos domésticos potencialmente peligrosos.

Entre estos residuos peligrosos se encuentran las pinturas y disolventes como posibles fuentes de tolueno y xilenos, las gasolinas y aceites de motor como posibles fuentes para el benceno y etilbenceno, y los pegamentos como fuentes de tricloroetano, etc. Según Allen et al. (1997), las emisiones de CFCs en vertederos se originan de la volatilización directa de compuestos de plásticos, aerosoles y refrigerantes, por lo que su concentración en el biogás estará

gobernada por la composición de las basuras, y no por el proceso de degradación de residuos que tiene lugar en el vertedero.

Tabla 3.7. Emisión biogénica No-controlada por Km^2 en el vertedero de Arico en 2004 y 2005 y en el vertedero de Lazareto en 2005.

Compuestos	Arico 2004 ($\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^{-2}$)	Arico 2005 ($\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^{-2}$)	Lazareto 2005 ($\text{Kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{Km}^{-2}$)
Benceno	13,8	13951,1	59,8
Tolueno	17601,1	21900,0	3679,9
Etilbenceno	3082,2	1216,7	388,9
m+p xileno	5110,0	3487,8	89,8
o-xileno	7056,7	3893,3	89,8
BTEX	32931,1	50856,7	4398,0
Radicales bencénicos	9814,4	6651,1	1525,8
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	48261,1	68214,4	5594,7
Hidrocarburos halogenados	2595,6	730,0	119,7
CFC	1054,4	81,1	6,0
COVs totales	51586,7	72107,8	5714,3

3.3.3 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por vertederos

Existen pocos estudios sobre emisiones de COVs no metanizados en vertederos (Dionis et al., 2003; Lima et al., 2003; Nolasco et al., 2005b, 2006b; Kim et al., 2006). Estos estudios son muy importantes pues nos ayudan a comprender la dinámica de desgasificación que tiene lugar en los vertederos tanto operativos como clausurados. Los vertederos son sistemas heterogéneos y anisótropos que hacen que la emisión de biogás y de otros gases tóxicos no se

produzca de manera uniforme en toda la superficie del vertedero. Las variaciones en las emisiones de COVs no metanizados en vertederos pueden ser atribuidas no sólo a diferencias en la composición de los RSU y a la mayor o menor presencia de residuos potencialmente peligrosos, sino también a la fase de degradación en la que se encuentra el vertedero, a la edad del mismo y la zona de estudio en cuestión. En la Tabla 3.8 se representan los resultados obtenidos en esta tesis doctoral sobre las concentraciones de BTEX en el vertedero de Arico 2004 y 2005, en el vertedero de Lazareto 2005 y también se representan los datos de concentración de BTEX en estudios realizados por Kim et al. (2006), en el cinco vertederos de Corea. Estos vertederos han sido; vertedero de Nan Ji Do, vertedero de Woon Jung Dong, vertedero de Sam Pong Dong, vertedero de Hoei Chun Dong y vertedero de No Hyung Dong. Podemos observar en dicha tabla como de los cinco vertederos estudiados por Kim sólo dos estaban operativos en el momento de estudio. El vertedero de Nan Ji Do es el vertedero más antiguo de Corea, tiene una superficie de 2,72 km² y estuvo operativo desde 1978 hasta 1992. La toma de muestras en este vertedero se realizó de manera intensiva durante septiembre y octubre de 2000 cuando estaba en un proceso de transición, pues iban a convertir este vertedero en un moderno parque. El vertedero de Woon Jung Dong lleva operativo desde 1991 y tiene una superficie de 0,28 Km². Este vertedero fue el más extensamente estudiado por Kim et al. (2006), con campañas realizadas en invierno y verano para ver como afectaban las variaciones estacionales a las concentraciones de COVs no metanizados en el vertedero.

El vertedero de Hoei Chun Dong tiene una superficie de 2,29 Km², el estudio desarrollado por Kim et al. (2006), en este vertedero tuvo lugar en el verano de 2003. Este vertedero y el de Woon Jung Dong son los únicos vertederos operativos del estudio realizado por Kim et al. (2006). Los vertederos de Sam Pong Dong y No Hyung Dong comparten la similitud de ser vertederos no operativos desde hace 20 años, además de ser los de menor superficie en este estudio con 0,03 y 0,2 Km², respectivamente.

La diferencia entre ambos vertederos es su uso actual, mientras el vertedero de No Hyung Dong ha sido remodelado a campo de fútbol, el vertedero de Sam Pong Dong se usa como extensión en la cual se almacenan temporalmente desechos.

En la Tabla 3.8 además se indica la localización de los mismos, el periodo en el que se realizó el estudio, toma de muestras y el equipo utilizado en la determinación y cuantificación de las mismas, se hace referencia al tipo de vertedero en estudio. Diferenciamos tres tipos de vertederos; vertederos sanitarios: que son vertederos controlados por la administración y además disponen de sistema de extracción de gases y sistemas que impiden la infiltración de los lixiviados en el subsuelo, vertederos no sanitarios: que son vertederos que no disponen de ningún tipo de sistema controlador de contaminantes, estos suelen ser vertederos muy antiguos en los que no existía normativa alguna sobre tratamiento y gestión de los residuos, y por último, tenemos los vertederos mixtos que como bien indica su nombre son una mezcla de ambos. Mayoritariamente hace referencia a vertederos sin sistemas de aislamiento en su base o en partes del mismo que impidan la infiltración del lixiviado al subsuelo y evite contaminación de aguas subterráneas o acuíferos, pero que si presentan o se les implementarán en un futuro sistemas de extracción de gases como es el caso del vertedero de Lazareto. Debemos también comentar que en el estudio realizado por Kim et al. (2006), la toma de muestras de COVs no metanizados se realizó a través de tuberías que canalizan el biogás del vertedero ó en la misma central del sistema de extracción de gas. En nuestro estudio, la toma de muestra se realizó en la cobertera mineral de los vertederos de Arico y Lazareto, y en ningún momento se ayudó del sistema de extracción de gas de dichos vertederos para capturar las muestras de gas. La toma de muestra en el estudio realizado por Kim et al. (2006), se realizó utilizando Tedlar bag, dispositivos de adsorción que tienen una capacidad de 3 a 10 litros de capacidad.

En la Tabla 3.8 se muestran los valores de concentración de BTEX en los vertederos anteriormente nombrados. Para el caso de estudio del benceno podemos observar como los máximos valores promedios de concentración detectados fueron encontrados en el vertedero de Woon Jung Dong para el periodo de estudio de verano, con 924 ppbV. El vertedero de Arico, durante el estudio realizado en 2005, es el segundo vertedero con mayor concentración de benceno, unos 242 ppbV. Le sigue el vertedero de Hoei Chun Dong con una concentración de 184 ppbV de benceno. Con menores valores de concentración de benceno y en orden decreciente encontraríamos al vertedero de No Hyung Dong, Nan ji Do, Lazareto 2005, Sam Pong Dong y Arico 2004 con concentraciones de benceno de 117, 31,8, 2,5, 2,5 y 1,97 ppbV, respectivamente. La mayor concentración de tolueno medida en estos vertederos fue nuevamente en el vertedero de Woon Jung Dong, con valores de tolueno de 10883,0 ppbV. Los mayores niveles de tolueno se han registrado en dicho vertedero tanto para la época de verano como la de invierno. El vertedero de Arico y durante el periodo de estudio de 2004, presentó la segunda mayor concentración de tolueno, 555,3 ppbV. Seguido del vertedero de Hoei Chun Dong con concentraciones de 414 ppbV de tolueno. En los vertederos de Nan ji Do, Lazareto 2005, Arico 2005, Sam Pong Dong y No Hyung Dong presentarían niveles de tolueno en orden decreciente de 259, 138,8, 136,9, 34,4 y 21,9 ppbV, respectivamente.

Para el estudio del etilbenceno observamos como es el vertedero de Woon Jung Dong el que presenta con diferencia mayor concentración de dicho BTEX, unos 2,978 ppbV para la época invernal y 982 ppbV para la época estival. El resto de vertederos presentan concentraciones menores de etilbenceno. Encontramos valores de etilbenceno de 267 ppbV en el vertedero de Hoei Chun Dong, seguidos de los 116,6 ppbV de etilbenceno determinados en el vertedero de Arico en 2004. Los valores de etilbenceno medidos para los vertederos de No Hyung Dong, Lazareto 2005, Sam Pong Dong y Arico 2005, han sido 53,7, 12,2, 11,1 y 4,0 ppbV, respectivamente. No tenemos información sobre los valores de concentración de etilbenceno en el vertedero de Nan ji Do.

Tabla 3.8. Valores promedio de concentración (ppbV) de benceno, tolueno, etilbenceno, m y p-xilenos y oxileno, obtenidos a través de ensayos realizados en los vertedero de Arico y Lazareto (esta tesis doctoral) y los vertederos de Nan ji Do, Woon Jung Dong, Sam Pong Dong, Hoei Chun Dong y No Hyung Dong, Corea.

COV (ppbV)	Arico 2004	Arico 2005	Lazareto 2005	Nan ji Do ¹	Woon Jung Dong ¹				Sam Pong Dong ¹	Hoei Chun Dong ¹	No Hyung Dong ¹
					Invierno		Verano				
Benceno	1,97	242,0	2,7	31,8	234,0	924,0	2,5	184,0	117,0		
Tolueno	555,3	136,9	138,8	259,0	10883,0	2610,0	34,4	414,0	21,9		
Etilbenceno	116,6	4,0	12,2	-	2978,0	982,0	11,1	267,0	53,7		
m+p Xileno	176,6	18,9	2,9	10,4	2362,0	1045,0	10,2	225,0	34,2		
o-xileno	226,7	19,3	3,0	45,1	-	-	13,4	292,0	48,9		
Localización	Tenerife	Tenerife	Tenerife	Seoul Corea	Gwang Ju Corea		Kyung San Corea	Jeju Corea	Jeju Corea		
Periodo de estudio	Agosto 2004	Agosto 2005	Julio 2005	Sept-Octb 2000			Enero 2003	Julio 2003	Julio 2003		
Toma de Muestras	Canister	Canister	Canister	Tedlar-bag	Tedlar-bag		Tedlar-bag	Tedlar-bag	Tedlar-bag		
Equipo utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/FID	GC/FID		GC/FID	GC/FID	GC/FID		
Método	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	EPA-602	EPA-602		EPA-602	EPA-602	EPA-602		
Tipo de operación	Sanitario	Sanitario	No sanitario	No sanitario	Mixto		No sanitario	Sanitario	No sanitario		
Periodo de operación	2003/2005	2003/2005	1911/1980	1978/1992	1991/actualidad		1989/1997	1992/actualidad	1980/1992		
Area (Km ²)	0,07	0,07	0,12	2,72	0,28		0,03	0,2	0,08		

¹Kim et al., 2006. ? se desconoce

Los mayores valores de concentración de m+p xileno fueron medidos nuevamente en el vertedero de Woon Jung Dong. Los valores de concentración determinados en este vertedero fueron 2,362 ppbV de m+p xileno para el estudio realizado durante la época invernal y de 1,045 ppbV de m+p xileno para el estudio realizado en dicho vertedero en la época estival. Los vertederos que presentaron en orden decreciente mayores concentraciones de m+p xileno fueron Hoi Chun Dong, Arico 2004, No Hyung Dong, Arico 2005, Nan ji Do, Sam Pong Dong y Lazareto 2005 con niveles de concentración de m+p xileno de 225,0, 176,6, 34,2, 18,9, 10,4, 10,2 y 2,9 ppbV, respectivamente. Para el caso de estudio del o-xileno comentar que no se dispone de datos de concentración de dicho COVs no metanizado en el vertedero donde encontramos las mayores emisiones del resto de BTEX, el vertedero de Woon Jung Dong. La mayor concentración promedio de este COVs la encontramos en el vertedero de Hoi Chun Dong, con valores de concentración de 292 ppbV de o-xileno, seguido en orden decreciente de concentración los vertederos Arico 2004, No Hyung Dong, Nan ji Do, Arico 2005, Sam Pong Dong y Lazareto 2005. En este estudio hemos observado que la mayor concentración de BTEX en los distintos vertederos se encontró en aquellos que durante el periodo de estudio estaban operativos. La concentración de BTEX en vertederos decrece en función de la edad de los mismos, y en consecuencia con la edad de sus residuos. En los vertederos operativos la concentración de BTEX es mayor en los vertederos de mayor tamaño, hecho que está íntimamente relacionado con el volumen de residuos sólidos urbanos vertidos. De esta forma, el vertedero que mayor concentración de BTEX presentó fue el de Woon Jung Dong, el cuál está actualmente operativo, siguiéndole el de Hoi Chun Dong, también operativo. Durante el estudio realizado en 2004, el vertedero de Arico se encontraba operativo, siendo el vertedero con la tercera mayor concentración de BTEX medida. Este vertedero es el más pequeño de los tres vertederos operativos estudiados (0,07 Km²), presentando un menor volumen de residuos. Los vertederos en los que se han medido menores valores de concentración de BTEX fueron no operativos. En orden decreciente de concentración encontraríamos al vertedero de No Hyung

Dong, clausurado en 1992, el vertedero de Nan ji Do clausurado también en 1992, el vertedero de Arico durante la campaña de 2005 convertido ya en vertedero clausurado, vertedero de Sam Pong Dong clausurado en 1997 y por último el vertedero de menor emisión y el más antiguo de todos, el vertedero de Lazareto, clausurado en 1980. Los datos obtenidos en la comparación de dichos vertederos son coherentes con los datos obtenidos por Young & Parker (1983), cuando demostraron que el biogás tomado en zonas del vertedero que contienen residuos domésticos frescos presentan mayores concentraciones de COVs no metanizados, principalmente compuestos orgánicos halogenados, mientras que en las áreas donde el biogás se genera desde residuos domésticos maduros presenta una mayor concentración de hidrocarburos ligeros (etano, propano, butano, pentano y hexano). En nuestra comparativa es más que evidente que los vertederos operativos con residuos frescos presentan mayores valores de concentración de BTEX que en vertederos clausurados con residuos maduros y muy degradados.

En la Tabla 3.9 se muestra una comparativa entre los valores promedio de concentración de COVs no metanizados determinados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los estudios realizados en esta tesis doctoral, los obtenidos por Zou et al. (2003), en el vertedero de Datianshan, ubicado en la provincia de Guangzhou, sur de China, los obtenidos por James et al. (1997), en dos celdas de vertido en un vertedero en Irlanda y por último hacemos referencia a los datos obtenidos por LaRegina et al. (1986), en uno de los vertederos de New Yersey, EEUU. Como hemos comentado anteriormente, existen pocos estudios a lo largo de nuestra geografía mundial sobre los niveles de emisión y concentración de los COVs no metanizados en vertederos. En este caso existen muy pocas referencias bibliográficas de estudios de concentración de COVs en vertederos. Aquí presentamos un estudio de las emisiones de COVs no metanizados en vertederos realizado por Zou et al. (2003), el realizado por James et al. (1997), en un vertedero irlandés y el realizado anteriormente a este por LaRegina et al. (1986). En estos estudios, la toma de muestras no es la que en la actualidad se utiliza para los COVs no metanizados. Además, en dichos estudios se omiten

datos de interés como la localización de los vertederos, la extensión del vertedero, el periodo en el que se realizó el estudio, periodo de operación, etc. En el estudio realizado por Zou et al. (2003), la toma de muestras de COVs no metanizados se realizó sincronizadamente utilizando unos dispositivos llamados comercialmente Carbon-Trap™ 300, que son tubos absorbentes para atrapar las muestras de COVs no metanizados, la toma de muestras realizada por James et al. (1997), se realizó con tubos de vidrio. Se tomaron muestras del aire ambiente dentro del vertedero de Datianshan y en las celdas de vertido del vertedero irlandés, en nuestro caso de estudio la toma de muestras se realizó como hemos comentado en la cobertera mineral del vertedero de Arico y Lazareto. En el estudio realizado por James et al. (1997), se indica que el vertedero en estudio estaba operativo durante el desarrollo del experimento, pero no hacen referencia en dicho artículo cual fue la fecha de apertura y clausura de dicho vertedero o si este sigue operativo en la actualidad.

En la Tabla 3.9 se muestran los resultados obtenidos del estudio realizado en el vertedero de Arico en 2004, cuando estaba operativo. En este estudio se midieron los mayores valores de BTEX (exceptuando el benceno), estireno y radicales bencénicos (1,2-diclorobenceno, 1,3-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno y 1,3,5-trimetilbenceno). Los mayores valores de concentración de benceno ($785,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) fueron medidos curiosamente en el experimento realizado en el vertedero de Arico en 2005, cuando ya estaba clausurado. En dicho vertedero también se han medido los mayores valores de clorobenceno ($28,9\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Los mayores valores de concentración del radical bencénico 1,2,4-trimetilbenceno y de los hidrocarburos halogenados, cloroformo y tetracloruro de carbono fueron medidos en el vertedero de Datianshan en la época estival. En el vertedero de New Jersey, en el estudio realizado por La Regina et al. (1986), los niveles de hidrocarburos halogenados como el tricloroetileno y tetracloroetileno, se midieron en concentraciones muy superiores a las del resto de los vertederos.

En el vertedero de Datianshan, (China), y durante la época invernal, se midieron los valores más bajos de concentración de COVs no metanizados de todos los vertederos estudiados. En este vertedero las concentraciones de COVs no metanizados en las muestras de verano eran superiores en uno o dos órdenes de magnitud a las de las muestras tomadas en invierno.

Tabla 3.9. Valores promedio de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de COVs obtenidos en ensayos realizados en los vertederos descritos en esta tesis doctoral, vertedero de Datianshan (Zou et al., 2003), vertedero en Irlanda (James et al., 1997) y vertedero de New Jersey (LaRegina et al., 1986).

COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Arico 2004		Arico 2005		Lazareto 2005		Datianshan ¹		Irlanda ²		USA ³	
							Invierno	Verano				
Benceno	6,4	785,2	8,8	7,3	73,0	24,4						52,8
Tolueno	2125,3	523,8	531,1	12,0	113,0	52,6						528,0
Etilbenceno	513,9	17,8	53,8	1,8	24,0	5,3						29,6
m+p Xileno	778,8	83,2	13,1	3,7	42,0	15,8						64,5
o-xileno	996,7	84,99	13,2	2,5	33,0	?						?
1,2,4-trimetilbenceno	154,2	43,4	7,6	3,6	188,0	?						?
1,3,5-trimetilbenceno	279,6	29,5	42,4	3,4	37,0	?						?
Estireno	1404,6	453,36	31,8	2,1	28,0	4,3						2,5
Cloroformo	6,5	0,7	0,9	3,7	13,0	?						?
Tetracloruro de carbono	-	-	0,1	1,3	3,7	?						?
Tricloroetileno	1,1	-	0,1	8,5	9,3	2,5						50,8
Tetracloroetileno	6,5	-	0,1	6,1	16,8	10,3						37,3
Diclorometano	34,2	-	0,1	5,1	4,9	?						?
Clorobenceno	0,7	28,0	0,5	0,6	2,2	?						?
1,2-diclorobenceno	15,2	4,0	2,7	2,1	1,7	?						?
1,3-diclorobenceno	15,5	2,3	2,2	0,9	3,3	?						?
1,4-diclorobenceno	13,1	2,3	2,9	0,3	0,5	?						?
1,2,4-triclorobenceno	-	-	1,6	0,3	0,4	?						?
Localización	Tenerife/España	Tenerife/España	Tenerife/España	Guangzhou/China	Guangzhou/China	Irlanda						New Jersey/EEUU
Período de estudio	Agosto 2004	Agosto 2005	Julio 2005	Enero/Septiembre 1998	Enero/Septiembre 1998	?						?
Toma de Muestras	Canister	Canister	Canister	Carbon-Trap TM 300	Carbon-Trap TM 300	Tubos de vidrio						?
Equipo utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS						?
Método	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	?	?	?						?
Tipo de operación	Sanitario	Sanitario	Mixto	Sanitario	Sanitario	Sanitario						Mixto
Período de operación	2003/2005	2003/2005	- 1911/1980	1986/actualidad	1986/actualidad	?						1968/1984
Area (Km ²)	0,07	0,07	0,12	0,17	0,17	?						0,24

¹Zou et al., 2003 ²James et al., 1997 ³LaRegina et al., 1986 ?se desconoce -identificado pero no cuantificado

Según Zou et al. (2003), podría concluirse que las variaciones en la concentración de COVs no metanizados de invierno a verano están muy relacionadas con la temperatura ambiente. En verano las altas temperaturas unidas a una alta humedad tienden a causar una mayor y más rápida degradación biológica de materia orgánica, y en consecuencia, una mayor producción del volumen de biogás dentro del vertedero donde la actividad biológica y la generación de gas se rigen principalmente por estos factores. Si comparamos las variaciones de BTEX e hidrocarburos aromáticos no halogenados con los hidrocarburos halogenados, observamos que las variaciones estacionales son relativamente pequeñas. Zou et al. (2003), sugiere para esta diferencia que al ser este tipo de COVs no metanizados más volátil, se produce predominantemente la volatilización directa de estos COVs desde la deposición de los residuos. Según este autor, la existencia hidrocarburos halogenados en el biogás de los vertederos se debe principalmente al vertido de disolventes industriales, jabón, pintura y productos decapantes. Por último, comentar que al comparar los datos obtenidos en esta tesis doctoral con los datos obtenidos por otros autores, podemos observar como es en nuestro estudio donde encontramos mayoritariamente los mayores valores de concentración de COVs no metanizados. Esto puede ser debido a que tomamos la muestra del biogás que se acumula dentro de la cámara de acumulación, mientras que para el vertedero de Datianshan y el vertedero irlandés la toma de muestra es del aire ambiente del vertedero. No existe acumulación previa del gas.

3.4 **Conclusiones**

1) Los máximos valores de emisión No-controlada de COVs en la campaña realizada en Arico en 2004 han sido registrados en las áreas este y oeste del vertedero, siendo estimada la emisión No-controlada de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004 ha sido estimada en 0,002, 2,17, 0,38, 0,63, 0,87, 4,06, 1,21, 5,95, 0,32, 0,13 y 6,36 Kg·d⁻¹, respectivamente.

2) Las principales anomalías de emisión No-controlada de COVs metanizados en el vertedero de Arico en 2005 han sido localizadas en las áreas este y suroeste del vertedero, siendo estimada la emisión biogénica No-controlada de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005 ha sido estimada en 1,72, 2,70, 0,15, 0,43, 0,48, 6,27, 0,82, 8,41, 0,09, 0,01, y 8,89 Kg·d⁻¹, respectivamente.

3) Las principales áreas de emisión No-controlada de COVs no metanizados en el vertedero de Lazareto en 2005 han sido localizadas en la zona central y norte del vertedero donde se han realizado los últimos vertidos, siendo estimada la emisión biogénica no-controlada de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales a la atmósfera en el vertedero de Lazareto en 2005 ha sido estimada en 0,02, 1,23, 0,13, 0,03, 0,03, 1,47, 0,51, 1,87, 0,04, 0,002 y 1,91 Kg·d⁻¹, respectivamente

4) La mayor emisión biogénica no-controlada de COVs son registradas en 2005 en el vertedero de Arico. Se observan claramente las diferencias de emisión No-controlada entre un vertedero operativo como es el vertedero de Arico y un vertedero clausurado como es el vertedero de Lazareto.

5) Los mayores valores de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera han sido encontrados en las áreas con residuos sólidos urbanos más recientes.

6) La concentración de BTEX es mayor en vertederos jóvenes y de gran tamaño, factor íntimamente relacionado con la edad y el volumen de RSU. De los vertederos estudiados, son los vertederos de Woon Jung Dong y Hoi Chun Dong, ambos operativos, los que han presentado mayores concentraciones de BTEX. El estudio realizado en el vertedero de Arico en 2005 muestra la tercera mayor concentración de BTEX.

7) Variables meteorológicas externas, como la temperatura y la humedad pueden influir en las diferentes concentraciones de COVs.

Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por EDAR en la Isla de Tenerife



4.1 Introducción

4.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

4.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la EDAR de Santa Cruz de Tenerife

4.2.2 Medidas in-situ de la emisión de CO₂ en la interfase aire-agua

4.2.3 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

3.2.4 Tratamiento estadístico

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la EDAR de Santa Cruz de Tenerife

4.3.2 Emisión de COVs no metanizados por otras EDAR

4.4 Conclusiones

4.1 Introducción

Los COVs están presentes en el agua urbana residual debido a las descargas desde fuentes domésticas, comerciales e industriales (WEF-ASCE, 1995). Recientemente, han sido incluidos en la lista de la Unión Europea un número reducido de COVs como contaminantes del agua (Directiva 200/60/EC). En EE.UU. el número de COVs catalogados como contaminantes del agua es mucho más extenso que el incluido en la legislación europea, estando además legisladas las emisiones de COVs tóxicos al aire desde las plantas de tratamiento de agua residual (EPA, 1994, 1995a, 1999). En la Unión Europea esta legislación no existe aunque cada vez hay una mayor preocupación sobre los COVs tóxicos presentes en el agua residual municipal y su potencial emisión a la atmósfera desde las plantas de tratamiento de agua residual (Escalas et al., 2003).

Las emisiones de COVs en las plantas de tratamiento de agua residual pueden producirse por diferentes mecanismos entre los que se encuentran la volatilización, la evaporación, la biodegradación y la fotodescomposición (Govind et al., 1991, Tansel & Eyma, 1999).

Entre estos mecanismos, la volatilización es el mecanismo más importante en lo que respecta a las emisiones aéreas y ocurre cuando las moléculas de un compuesto disuelto escapan a una capa de gas adyacente (Tansel & Eyma, 1999). La proporción de volatilización en una interfase de aire-agua residual depende de la concentración y propiedades del compuesto volátil, características de la fase líquida y las condiciones de la fase gas circundante (Tansel & Eyma, 1999). La volatilización puede ocurrir a temperaturas relativamente bajas, considerando que la evaporación requiere temperaturas mucho más altas. La fuente principal de emisiones a la atmósfera de COVs en los tanques abiertos de las depuradoras se ha determinado que es por volatilización desde la superficie líquida (Tansel & Eyma, 1999). Los niveles de emisión dependen de las concentraciones de los compuestos orgánicos volátiles en el agua, la volatilidad de los compuestos individuales, el área de la superficie del agua expuesta a la fase gas, el grado de agitación de la superficie del agua, y el tiempo de residencia del agua en el

tanque (Tansel & Eyma, 1999). En ausencia de agitación, se ha encontrado que las emisiones de COVs variarán con la velocidad del viento (O'Connor, 1983).

La biodegradación tiene lugar cuando los microorganismos degradan los compuestos orgánicos a compuestos más pequeños para su crecimiento celular y generación de energía (Tansel & Eyma, 1999). La proporción de descomposición orgánica depende de la estructura del compuesto, los requisitos metabólicos de los microorganismos y las condiciones medioambientales del ambiente (Tansel & Eyma, 1999). La biodegradación también puede tener un efecto significativo en las emisiones de COVs desde los diferentes procesos del tratamiento del agua residual (Pincince, 1991). Las emisiones de COVs de los tanques de aireación por biodegradación, excederán a las emisiones de los COVs por volatilización en los clarificadores para COVs con ratios bajos de biodegradación (Tansel & Eyma, 1999). Finalmente, en ausencia de agitación mecánica y viento los movimientos de convección naturales del agua serán el mecanismo más importante de emisión de COVs por el agua residual al aire circundante (Tansel & Eyma, 1999).

Varios autores han estudiado las concentraciones de COVs en las diferentes etapas de tratamiento de agua residual (Escalas et al., 2003; Nicolaou et al., 2002; Nolasco et al., 2006c, 2007). La emisión a la atmósfera de COVs prevalece en las fases de pre-tratamiento (Govind et al., 1991; EPA 1994; Melcer et al., 1994) y en los clarificadores primarios, aunque también es observada en los clarificadores secundarios (EPA 1994, Corsi et al., 1991). La depuración de aguas residuales elimina la materia orgánica presente en estas aguas desde el pretratamiento hasta los reactores biológicos. La degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, su combustión incompleta y los procesos de putrefacción que esta materia orgánica presenta en el agua residual son los principales procesos que generan emisiones de COVs no metanizados. Recientemente se han creado diferentes modelos para determinar los procesos que sufren los COVs en las plantas de tratamiento del agua residual.

En esta Tesis Doctoral hemos utilizado las instalaciones de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Buenos Aire, Santa Cruz de Tenerife (Figura 4.1) para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por estaciones de tratamiento del agua residual. La EDAR de Santa Cruz de Tenerife fue construida por el Servicio Hidráulico en 1966-1969 y puesta en marcha por EMMASA en 1980. Trata un caudal medio de 30000 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ de las aguas residuales de la Ciudad (el resto se tratan en las estaciones de Añaza, Acorán y San Andrés), y unos 10000 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ procedentes de La Laguna, que corresponde a una población total de alrededor de 300000 habitantes. La EDAR consta de dos grandes instalaciones: la estación de tratamiento y bombeo de los Llanos y las instalaciones de depuración de Buenos Aires.



Figura 4.1. Foto aérea de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife.

4.2 *Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos*

4.2.1 *Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife*

En Mayo de 2006 se realizó una campaña para estimar la emisión de COVs no metanizados en las distintas fases de tratamiento del agua residual de la EDAR de Santa Cruz de Tenerife. Las medidas de flujo de CO_2 fueron realizadas siguiendo una modificación del método de la cámara de acumulación

como se ha descrito en el apartado 3.2.2 del Capítulo 3. Se tomaron cuatro muestras de gas en cada uno de las diferentes fases de tratamiento del agua urbana residual, es decir, en los tanques de pretratamiento, clarificadores primarios, reactores biológicos y clarificadores secundarios.

4.2.2 Medidas in-situ de la emisión de CO₂ en la interfase aire-agua residual

La estimación de la emisión de COVs no metanizados desde la EDAR de Santa Cruz fue realizada siguiendo la misma metodología que en el caso de los vertederos de Arico y Lazareto y descrita en el apartado 3.2.

4.2.3 Toma de Muestras y Análisis COVs no metanizados

La toma de muestras de gases se realizó mediante una variante del método de la cámara de acumulación (Figura 4.2) Las muestras de gas de la interfase aire-agua residual fueron tomadas dentro de la cámara de acumulación. El análisis de COVs no metanizados ha sido descrito en el apartado 2.2.2 y 2.2.3. La cámara de acumulación se coloca flotando sobre la superficie del agua en los diferentes depósitos para el tratamiento del agua residual de la depuradora y la toma de muestra de gas se realiza en la interfase aire-agua residual (Figura 4.3).

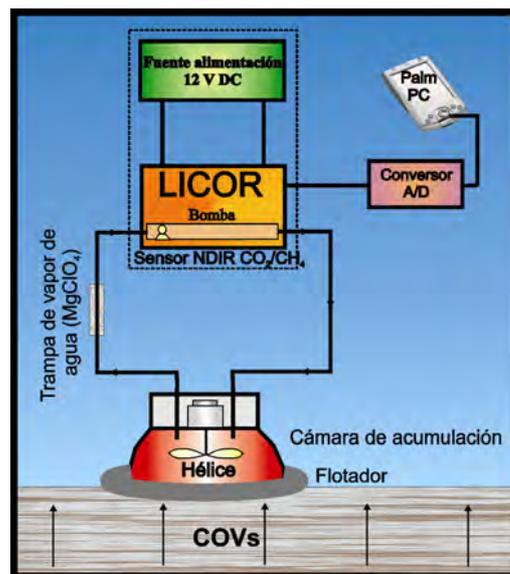


Figura 4.2.- Esquema del sistema de medida para la determinación *in situ* de la emisión biogénica desde la EDAR de Buenos Aires. Variante del método de la cámara de acumulación.



Figura 4.3.- Toma de una muestra del aire ambiente en la interfase aire-agua residual del interior de la cámara de acumulación en la planta de agua residual (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife.

Con la ayuda de una jeringuilla hipodérmica se perfora el septum localizado en la cubierta superior de la cámara de acumulación y se toman las muestras de biogas de la interfase aire-agua residual (Figura 4.4).



Figura 4.4 Toma de muestra de gas en el aire ambiente superficial de la Planta Depuradora de Agua Residual (EDAR) mediante el uso canisters de acero inoxidable previamente evacuados al vacío

4.2.4 Tratamiento Estadístico

Descrito en el punto 3.2.5.

4.3 Resultados y Discusión

4.3.1 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Santa Cruz de Tenerife

En la campaña realizada en la Depuradora de Santa Cruz se determinó no sólo la concentración y la tasa de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera a través de la interfase aire-agua residual, sino también la concentración y la tasa de emisión de CO_2 , indispensable para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la EDAR. El número de COVs no metanizados identificados fue 13: cloroetano, diclorometano, cloroformo, benceno, tolueno, etilbenceno, m+p-xileno, estireno, o-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,3,5-trimetilbenceno, 1,2,4-triclorobenceno y el 1,2-diclorobenceno. Sin embargo, no todas las muestras presentaban el mismo tipo de compuestos, ni en las mismas concentraciones, como tampoco se determinaron los mismos niveles de flujo a través de los diferentes tratamientos de la depuradora (Nolasco et al., 2006c, 2007). Los promedios de concentración y flujo de los COVs no metanizados identificados y cuantificados se expresan a continuación para cada una de las fases de tratamiento del agua residual,

pretratamiento, clarificadores primarios, reactores biológicos y clarificadores secundarios (Tabla 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4).

Tabla 4.1. Datos promedios de concentración (ppbV) y flujo de COVs no metanizados ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) durante el pretratamiento.

COVs	Promedio concentración	Promedio flujo
cloroetano	167,1	32663,3
diclorometano	157,7	40577,6
cloroformo	9,9	3398,8
benceno	0,9	215,7
tolueno	103,5	27949,4
etilbenceno	4,9	1522,8
m+p-xileno	14,1	4314,4
estireno	0,9	309,6
o-xileno	13,0	3989,6
1,2,4-trimetilbenceno	13,2	4496,6
1,3,5-trimetilbenceno	4,3	1463,3
1,2,4-triclorobenceno	13,2	6795,5
1,2-diclorobenceno	1,8	756,6
BTEX	136,5	37990,9
Radicales bencénicos	37,5	15034,8
Hidrocarburos Aromáticos no halogenados	154,9	44260,5
Hidrocarburos halogenados	349,7	84191,8
COVs totales	504,7	128452,3
CO ₂	3772,5 (ppm)	376,1 ($\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)

Así mismo, también se muestran las concentraciones y el flujo promedio de CO₂ en ppmV y g·m⁻²·d⁻¹, respectivamente.

Tabla 4.2. Datos promedios de concentración (ppbV) y flujo de COVs no metanizados (μg·m⁻²·d⁻¹) en los clarificadores primarios.

COVs	Promedio concentración	Promedio flujo
cloroetano	3,5	548,8
diclorometano	4,6	851,0
cloroformo	2,7	697,7
benceno	1,3	215,3
tolueno	249,1	48375,2
etilbenceno	2,8	648,2
m+p-xileno	7,3	1671,3
estireno	0,9	152,1
o-xileno	4,9	1130,2
1,2,4-trimetilbenceno	5,1	1304,6
1,3,5-trimetilbenceno	1,2	296,6
1,2,4-triclorobenceno	5,1	1971,6
1,2-diclorobenceno	0,3	102,6
BTEX	265,5	52040,3
Radicales bencénicos	14,5	4323,6
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	272,6	53793,6
Hidrocarburos halogenados	16,3	4171,7
COVs totales	288,8	57965,28
CO ₂	5313,9 (ppm)	382,35 (gr·m ⁻² ·d ⁻¹)

Tabla 4.3. Datos promedios de concentración (ppbV) y flujo de COVs no metanizados ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) en los reactores biológicos.

COVs	Promedio concentración	Promedio flujo
diclorometano	1,3	211,5
benceno	0,9	149,4
tolueno	71,6	12489,2
etilbenceno	1,7	363,1
m+p-xileno	4,9	1010,0
estireno	1,6	316,7
o-xileno	3,5	712,7
1,2,4-trimetilbenceno	2,9	684,7
1,3,5-trimetilbenceno	17,3	4006,4
1,2,4-triclorobenceno	2,9	1034,8
BTEX	82,7	14724,3
Radicales bencénicos	24,9	6089,1
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	104,5	19732,2
Hidrocarburos halogenados	4,3	1246,4
COVs totales	108,8	20978,5
CO ₂	5132,5 (ppm)	377,6 ($\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)

Como se puede observar, es en el pretratamiento y en los clarificadores primarios o decantación primaria donde encontramos el mayor número de COVs no metanizados identificados (13 COVs). Es en estas fase del tratamiento del agua residual donde detectamos COVs no metanizados como es el caso del cloroformo y del 1,2-diclorobenceno, que únicamente aparece en estas etapas de la depuración. Los valores de concentración de cloroformo medidos en estas fases

del tratamiento del agua residual son significativos, aunque no llegan a superar los valores límites establecidos.

Tabla 4.4. . Datos promedios de concentración (ppbV) y flujo de COVs no metanizados ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) en los clarificadores secundarios.

COVs	Promedio concentración	Promedio flujo
cloroetano	0,9	140,8
diclorometano	2,2	453,6
benceno	0,4	93,5
tolueno	67,8	14842,3
etilbenceno	1,2	311,8
m+p-xileno	3,7	950,6
o-xileno	2,7	702,4
1,2,4-trimetilbenceno	3,4	989,6
1,3,5-trimetilbenceno	18,2	5241,4
1,2,4-triclorobenceno	3,4	1495,5
BTEX	76,0	16900,7
Radicales bencénicos	26,3	8038,4
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	97,7	23131,7
Hidrocarburos halogenados	6,6	2089,9
COVs totales	104,3	25221,7
CO ₂	4002,4 (ppm)	368,3 ($\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)

En 1977 el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), estableció para los agentes anestésicos como el cloroformo un valor límite recomendado (REL) de 2 ppm como valor umbral durante 60 min. Actualmente este valor límite de exposición en el trabajo para este gas es de 0,5 ppm (media

de 8 horas diarias, 40 horas a la semana). El cloroetano es observado en las fases de pretratamiento, en los clarificadores primarios y en los clasificadores secundarios, aunque sin embargo no es observado en los reactores biológicos. Por el contrario, el estireno es observado en los tres primeros estadios de la fase de depuración (pretratamiento, clarificadores primarios y reactores biológicos) pero no aparece en la última fase de la depuración. Las mayores valores de concentración de COVs no metanizados detectados en las etapas de depuración se han encontrado en la fase de pretratamiento, excepto para el benceno y tolueno cuyos máximos valores de concentración son registrados en los clarificadores primarios, el estireno que su valor máximo es detectado en los reactores biológicos y por último el 1,2,3-trimetilbenceno que es en los clarificadores secundarios donde se detecta el mayor nivel de concentración. Es de esperar que la concentración de los COVs no metanizados determinados en la EDAR vayan disminuyendo según avancemos en el proceso de depuración (Nolasco et al., 2006c, 2007). Por esta razón, las concentraciones de COVs no metanizados van disminuyendo desde las fases pretratamiento hasta los clarificadores secundarios. Además de la reducción de la emisión de COVs no metanizados se aprecia un claro empobrecimiento en el número de COVs no metanizados conforme avanza el proceso de depuración. Por estas razones, la fase de pretratamiento se caracteriza por presentar las mayores tasas de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera, $128 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, seguido de los $57 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ emitidos por los clarificadores primarios (Nolasco et al., 2006c, 2007).

Al estudiar las tasas de emisión de COVs no metanizados en las diferentes fases del tratamiento de aguas residuales, se puede apreciar como estas emisiones disminuyen con el paso del agua residual por las diferentes fases de tratamiento de la depuradora. La depuración de aguas residuales elimina la materia orgánica presente en estas aguas desde el pretratamiento hasta los reactores biológicos. La degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, su combustión incompleta y los procesos de putrefacción de esta materia orgánica presente en el agua residual sufre son los principales procesos que generan emisiones de COVs no metanizados. La tasa de emisión de COVs no metanizados pasa de 128

$\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en el pretratamiento a $57 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en los clarificadores primarios y a $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ en los reactores biológicos. La emisión es algo mayor en los clarificadores secundarios ($25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) que en los reactores biológicos, esto puede ser debido a que cuando el agua llega a dichos tanques queda estancada hasta su paso a la cloración. Es en esta fase donde nuevamente se produce una degradación de la materia orgánica que contiene el agua aunque en menor concentración y provoca el pequeño aumento de emisión de COVs no metanizados. Con los datos de emisión de COVs no metanizados se puede apreciar la eficiencia del sistema de depuración.

Una vez estimadas las tasas emisión de COVs no metanizados para cada depósito estudiado (pretratamiento, clarificadores primarios, reactores biológicos y clarificadores secundarios) se procedió al cálculo de la emisión total por parte de cada etapa del tratamiento del agua residual en la depuradora. Estos cálculos se han realizado multiplicando las tasas de emisión obtenidas en cada fase del tratamiento del agua residual por el área de los depósitos. En las tablas 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 se pueden observar desde los diferentes procesos de depuración las tasas de emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p-xileno, o-xileno, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados y COVs totales, respectivamente.

En la Tabla 4.5 se expone la tasa de emisión total de benceno en las diferentes etapas de la depuración. Puede observarse que los clarificadores primarios son los que presentan mayores valores de emisión de benceno a la atmósfera, mientras que los clarificadores secundarios presentan los niveles más bajos de emisión de este COVs no metanizado. En las tablas 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.12 y 4.14 se muestran los datos de emisión de tolueno, etilbenceno, m+p-xileno, o-xileno, BTEX, hidrocarburos aromáticos no halogenados y COVs totales, respectivamente. En dichas tablas se puede observar que los mayores valores de emisión total de estos COVs no metanizados en cada etapa de depuración ocurren en los clarificadores primarios, mientras que los valores

mínimos de emisión se producen en los reactores biológicos. Por el contrario, las tasas de emisión de radicales bencénicos representadas en la Tabla 4.11 muestran como son los reactores biológicos donde estimamos los mayores valores de emisión de dichos COVs no metanizados. Para los hidrocarburos halogenados, los mayores valores de emisión se han medido en los tanques de pretratamiento, mientras que los valores más bajos se han medido en los reactores biológicos. En la fase de pretratamiento es donde encontramos los mayores valores de concentración y flujo de COVs no metanizados. Sin embargo, al extrapolar estos valores de flujo al área de cada depósito de depuración, y al ser este el que menor área presenta quedan los clarificadores primarios con mayor área y con un importante nivel de concentración de COVs no metanizados como el principal foco emisor dentro de la depuradora de COVs no metanizados.

Tabla 4.5. Datos de emisión de benceno en las diferentes etapas de depuración.

Benceno	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	215,8	46,6	1	0,05
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	215,3	244,2	2	0,49
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	149,4	201,6	2	0,40
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	93,5	155,4	2	0,31

Tabla 4.6. Datos de emisión de tolueno en las diferentes etapas de depuración.

Tolueno	Área del depósito	Promedio Flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	27949,4	6037,1	1	6,04
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	48375,2	54862,8	2	109,73
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	12489,2	16860,4	2	33,72
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	14842,3	24666,4	2	49,33

Tabla 4.7. Datos de emisión de etilbenceno en las diferentes etapas de depuración.

Etilbenceno	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	1522,8	328,9	1	0,33
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	648,2	735,1	2	1,47
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	363,1	490,2	2	0,98
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	311,9	518,3	2	1,04

Tabla 4.8. Datos de emisión de m+p xileno en las diferentes etapas de depuración.

m+p xileno	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	4313,4	931,7	1	0,93
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	1671,3	1895,5	2	3,79
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	1010,0	1363,5	2	2,73
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	950,6	1579,8	2	3,16

Tabla 4.9. Datos de emisión de o-xileno en las diferentes etapas de depuración.

o-xileno	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	3989,6	861,7	1	0,86
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	1130,2	1281,8	2	2,56
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	712,7	962,1	2	1,92
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	702,4	1167,3	2	2,33

Tabla 4.10. Datos de emisión de BTEX en las diferentes etapas de depuración.

BTEX	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	37990,9	8206,0	1	8,21
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	52040,3	59019,4	2	118,04
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	14724,3	19877,8	2	39,76
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	16900,7	28087,3	2	56,17

Tabla 4.11. Datos de emisión de radicales bencénicos en las diferentes etapas de depuración.

Radicales bencénicos	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	15034,7	3247,5	1	3,25
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	4323,6	4903,4	2	9,81
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	6089,1	8220,2	2	16,44
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	8038,4	13359,1	2	26,72

Tabla 4.12. Datos de emisión de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de depuración.

Hidrocarburos aromáticos no halogenados	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	44260,5	9560,3	1	9,56
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	53793,6	61007,8	2	122,02
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	19732,2	26638,4	2	53,28
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	23131,7	38442,6	2	76,89

Tabla 4.13. Datos de emisión de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de depuración.

Hidrocarburos halogenados	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	84191,8	18185,4	1	18,2
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	4171,7	4731,2	2	9,5
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	1246,4	1682,6	2	3,4
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	2090,0	3473,3	2	6,9

Tabla 4.14. Datos de emisión de COVs totales en las diferentes etapas de depuración.

COVs totales	Área del depósito	Promedio flujo ($\mu\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)	Emisión de cada depósito ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	Número de depósitos operativos	Emisión total de cada etapa de depuración ($\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$)
Pretratamiento	$36\text{m} \times 6\text{m} = 216\text{m}^2$	128452,3	27745,7	1	27,7
Clarificadores primarios	$3,14 \times (19\text{m})^2 = 1134,11\text{m}^2$	57965,3	65739,0	2	131,5
Reactores biológicos	$45\text{m} \times 30\text{m} = 1350\text{m}^2$	20978,5	28321,0	2	56,6
Clarificadores secundarios	$3,14 \times (23\text{m})^2 = 1661,90\text{m}^2$	25221,7	41916,0	2	83,8

Con los datos de emisión total de COVs no metanizados en las diferentes etapas de depuración se puede observar como disminuye la emisión de COVs no metanizados en las diferentes etapas de la depuración. Se observa nuevamente como la emisión aumenta en los clarificadores secundarios debido al estancamiento del agua hasta su paso a la etapa de cloración. Si sumamos la emisión total de cada una de las etapas de depuración podemos calcular la emisión total de COVs no metanizados por parte de la depuradora de Santa Cruz en $109,3 \text{ Kg}\cdot\text{a}^{-1}$, es decir $0,11\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$.

4.3.2 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por otras Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR)

Los estudios realizados sobre emisiones de COVs no metanizados en EDAR y en aguas superficiales en general son muy escasos. En la Tabla 4.15 podemos observar los niveles de concentración de COVs no metanizados obtenidos en ensayos realizados en EDAR, ríos y lagos. A menudo encontramos concentraciones trazas de COVs en aguas superficiales, debidos a vertidos desde industrias, desde fuentes domesticas, provenientes del agua de escorrentía que lava los pesticidas y los herbicidas de los terrenos agrícolas e incluso, desde la deposición de COVs provenientes de emisiones vehiculares (Howard, 1991; Golfinoopoulos et al., 1998; Lekkas, 1996; Orchard et al., 2000; Ndon et al., 2000; Buhamra, 1998). Aunque también se ha demostrado que los océanos, las algas marinas, el fitoplancton y los bosques son fuentes importantes de COVs biogénicos (Slaets et al., 1998).

En la tabla 4.15 se presentan los resultados obtenidos de este estudio sobre las concentraciones promedio de COVs no metanizados en las diferentes etapas de tratamiento del agua residual. También se presentan los datos de concentración de COVs no metanizados en los estudios realizados por Escalas et al. (2003), en la EDAR de Manresa y Sant Joan de Vilatorrada en Cataluña. Esta estación depuradora recibe el agua residual de una población de 134000 habitantes. En la tabla también aparecen los resultados de un estudio realizado por Nikolaou et al. (2002), en Grecia.

Nikolaou et al. (2002), realizó durante un año de estudio de diferentes ensayos en ríos, lagos y depuradoras. Durante el periodo de estudio se realizaron ensayos en 11 ríos de Grecia (Evros, Nestos, Strymonas, Axios, Aliakmonas, Acheloos, Asopos, Pinios Thessalias, Pinios Peloponnisou, Alfeios y Evrotas), 7 lagos (Vistonida, Volvi, Vegoritida, Large Prespa, Small Prespa, Doirani y Pamvotida) y tres EDAR (Pagasitikos, Saronikos y Thermaikos).

En la Tabla 4.16 se muestran los COVs no metanizados identificados y cuantificados en los tres estudios presentados. También se describe la toma de muestra y metodología utilizada. Aunque el equipo utilizado para la determinación de COVs no metanizados es el mismo en el caso de estudio de Nikolaou et al. (2002), y el nuestro, y muy similar al utilizado por Escalas et al., 2003, la toma de muestras y la metodología seguida son diferentes. A pesar de ello podemos observar en la Tabla 4.15 que las muestras de agua tomadas por Nikolaou et al., 2002, en lagos y ríos de Grecia no presentan concentraciones de COVs no metanizados o estas concentraciones son insignificantes. Las de gas muestras tomadas en la EDAR de S/C de Tenerife presentan COVs no metanizados que no han sido estudiados por los otros autores como es el caso del cloroetano o el 1,2-diclorobenceno. Los valores de concentración de diclorometano registrados en la EDAR de S/C son muy superiores a los detectados en depuradoras de Grecia, al igual que lo observado para el tolueno, donde los valores de concentración determinados en la EDAR de S/C están un orden de magnitud por encima de los registrados en la EDAR de Manresa y en la EDAR en Grecia. Para el 1,3,5-trimetilbenceno la proporción es la misma. En cambio, las concentraciones de benceno medidas son las más bajas. En las EDAR de Manresa y las EDAR de Grecia los valores de concentración de benceno son un orden de magnitud superior. Los valores de etilbenceno, m+p xileno y estireno son muy similares en las depuradoras de Manresa y de S/C, valores sin embargo muy inferiores a los medidos en las EDAR de Grecia. Las concentraciones medidas de o-xileno son similares en la EDAR de S/C y la EDAR de Grecia pero un orden de magnitud inferiores a las medidas en la depuradora de Manresa.

Tabla 4.15. Datos de concentración de COVs (ppbV) en diferentes EDAR, ríos y lagos. ^aEscalas et al., 2003, ^bNikolaou et al., 2002, ? se desconoce, nd no detectado

COV no metanizados	EDAR S/C Tfe	EDAR Manresa Cataluña ^a	EDAR Grecia ^b	Ríos Grecia ^b	Lagos Grecia ^b
cloroetano	42,90	?	?	?	?
diclorometano	41,45	?	nd - 14,10	nd	nd
cloroformo	4,21	9,50	nd - 458,50	nd-1,50	nd
benceno	0,90	7,60	nd - 5,90	nd	nd
tolueno	123,04	23,00	nd - 13,70	nd-6,70	nd
etilbenceno	2,69	1,70	nd - 19,80	nd	nd
m+p-xileno	7,51	6,60	nd - 36,40	nd	nd
estireno	1,12	0,27	?	?	?
o-xileno	6,05	2,20	nd - 5,80	nd	nd
1,2,4-trimetilbenceno	6,17	14,00	?	?	?
1,3,5-trimetilbenceno	10,24	1,30	nd - 2,70	nd-2,70	nd
1,2,4-triclorobenceno	6,17	?	nd	nd-1,70	nd
1,2-diclorobenceno	0,71	?	?	?	?
Fecha Experiments	Mayo06	?	Otb98/Spt99	Otb98/Spt99	Otb98/Spt99
Toma Muestras	Canister	CLSA	Vacutainer	Vacutainer	Vacutainer
Equipo utilizado	GC/MS	HRGC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS
Método	TO-14	EPA 624/625	?	?	?

Tabla 4.16. Datos de concentración de COVs durante la etapa de pretratamiento en la EDAR de S/C y la EDAR de Manresa.

COV no metanizados (ppbV)	EDAR S/C de Tfe	EDAR Manresa Cataluña ^a
Cloroetano	167,11	?
Diclorometano	157,67	?
Cloroformo	9,91	4,40
Benceno	0,96	5,80
Tolueno	103,54	19,00
Etilbenceno	4,94	2,90
m+p-xileno	14,10	13,00
Estireno	0,90	0,10
o-xileno	12,99	5,3
1,2,4-trimetilbenceno	13,21	35,00
1,3,5-trimetilbenceno	4,33	2,7
1,2,4-triclorobenceno	13,21	?
1,2-diclorobenceno	1,81	?
Fecha del Experimento	Mayo 2006	?
Toma de Muestras	Canister	CLSA
Equipo utilizado	GC/MS/MS	HRGC/MS
Método	EPA TO-14	EPA 624, 625 y 524,2

^aEscalas et al., 2003 ? se desconoce

En la Tabla 4.16 podemos observar las concentraciones de COVs no metanizados detectadas durante la fase de pretratamiento en la EDAR de S/C y la EDAR de Manresa. Los COVs no metanizados como el cloroformo,

etilbenceno, o-xileno y 1,3,5-trimetilbenceno están presentes en mayor concentración en la EDAR de S/C, en el caso del tolueno, esta diferencia es un orden de magnitud superior con respecto a la concentración registrada de dicho elemento en la depuradora de Manresa.

Los valores de concentración medidos de m+p xileno y estireno fueron similares en esta etapa del tratamiento del agua residual en ambas depuradoras. Para el caso de estudio del benceno y del 1,2,4-trimetilbenceno, podemos apreciar como los valores medidos de estos COVs no metanizados son superiores en la depuradora de Manresa, en ambos casos los valores medidos en esta depuradora son un orden de magnitud superiores a los medidos en la EDAR de S/C.

4.4 *Conclusiones*

1) El mayor número de COVs no metanizados identificados en esta tesis doctoral han sido localizados en las fases de pretratamiento y decantación primaria.

2) Se observa una disminución en la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera según se avanza en las etapas de depuración del agua residual.

3) La emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la EDAR de Santa Cruz de Tenerife en el pretratamiento, clarificadores primarios, reactores biológicos y clarificadores secundarios ha sido 27,7, 131,5, 56,6 y 83,8 g·d⁻¹, respectivamente.

4) La emisión de COVs no metanizados por parte de la EDAR de Santa Cruz ha sido estimada en 109.3 Kg·a⁻¹.

5) Se han comparado las tasas totales de emisión de la EDAR de S/C de Tenerife (109,3 Kg·a⁻¹) y la EDAR de Manresa, (2231,0 Kg·a⁻¹), y podemos observar que la EDAR de Manresa presenta una tasa de emisión de COVs no metanizados un orden de magnitud superior a la EDAR de Santa Cruz de Tenerife.

6) Las diferencias de emisión entre las diferentes EDAR están estrechamente relacionados con el volumen de agua residual que recibe cada EDAR, el origen de esta agua residual (fuentes domésticas, comerciales e industriales) y por último el diseño de la EDAR (automatización etc.).

Emisiones de
Compuestos
Orgánicos Volátiles
no metanizados a la
atmósfera por la
actividad industrial
en la Isla de Tenerife



5.1 Introducción

5.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

5.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en la isla de Tenerife

5.2.2 Análisis de SO₂ en la baja troposfera de las proximidades de la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife

5.2.3 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

5.2.4 Medidas in-situ de la emisión de SO₂ a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife

5.3 Resultados y Discusión

5.3.1 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife

5.3.2 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por centrales termoeléctricas

5.4 Conclusiones

5.1 Introducción

Las refinерías de petróleo y plantas petroquímicas son instalaciones industriales de enormes dimensiones. El funcionamiento de estas instalaciones industriales está asociado a la emisión de varios COVs a la atmósfera, originados principalmente por procesos de evaporación y fugas desde tanques de almacenamiento, tuberías de transporte de combustibles y desde áreas industriales de desechos (Kalabokas et al., 2001). En la industria petroquímica, la mayor parte de los compuestos orgánicos provienen del fraccionamiento del petróleo (Crosby, 1998). El refinado del petróleo se realiza por separación física, térmica y química. Los productos primarios de la industria petroquímica se dividen en tres categorías (EPA, 1995b): combustibles (gasolina, diesel, aceites, keroseno, gas de petróleo licuado, combustible para motores de reacción, aceite residual y coke); combustible no acabado para formación de otros productos (disolventes, aceites lubricantes, grasas, ceras, asfalto y coke); y productos de alimentación de la industria química (etano, propano, butano, etileno, propileno, butileno, butadieno, benceno, tolueno y xileno) (Cetin et al., 2003). Las fugas o emisiones fugitivas, el quemado de combustibles fósiles en los procesos petroquímicos y otros procesos dentro de la propia refinería son las principales fuentes de emisión de las refinerías (EPA, 1995b). Junto con los COVs hay otros contaminantes que son emitidos por este tipo de industrias como el SO₂, CO, NO_x y partículas (Buonicare & Davis, 1992).

Entre los contaminantes atmosféricos más importantes emitidos por las refinerías están los COVs. Una vez los COVs entran en la atmósfera causan numerosos problemas de contaminación local y regional, además de las emisiones de las plantas petroquímicas localizadas cerca de áreas residenciales afectan la salud humana (Lin et al., 2004).

En este estudio se ha investigado la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en la isla de Tenerife con el objeto es realizar una estimación de la tasa de emisión de estas especies químicas. Las

medidas se han realizado en las inmediaciones de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz (Figura 5.1).

Esta refinería de petróleo es la más antigua de España, y está en funcionamiento desde 1930. Desde esa época y hasta finales de los años 60, cuando entró en funcionamiento la Refinería "Gibraltar-San Roque", esta refinería abastecía no sólo el mercado canario, sino también una parte importante de la demanda de derivados del petróleo del mercado peninsular. Fruto de continuas renovaciones tecnológicas, su capacidad anual de refino ha pasado de las 250000 toneladas de 1930 hasta las 4500000 de la actualidad. Se suministran todo tipo de productos petrolíferos para consumo del archipiélago, con aportaciones a los mercados peninsular, africano y de determinados productos al mercado americano. Además de la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife, la isla consta de dos Centrales Térmicas, la central térmica de Caletillas y la central térmica de Granadilla.



Figura 5.1.- Vista de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife.

5.2 Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos

5.2.1 Diseño Experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife

Para calcular la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife, en una primera fase se realizó la toma de

muestra en las proximidades de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife. Del 22 de marzo al 8 de abril de 2006 se instaló en las proximidades de dicha industria petroquímica la unidad móvil para la medida de contaminantes atmosféricos perteneciente al Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER) (Figura 5.2). Este vehículo está equipado con un sistema de electroválvulas que tiene acoplado cuatro canisters que nos permiten tomar muestras a intervalos de tiempo predeterminados. La toma de muestras se ha realizado a las 0:00, a las 2:00, a las 4:00 y a las 6:00 horas durante el periodo de muestreo prefijado, garantizándose así que la mayor emisión de COVs no metanizados registrada sea la generada por la industria ya que en ese tramo horario el tráfico de vehículos es prácticamente inexistente.



Figura 5.2.- Vista general de la unidad móvil para la medida de contaminantes atmosféricos ubicado en las instalaciones del ITER.

La toma de muestras se realizó durante la noche para evitar la menor interferencia con la emisión de COVs no metanizados debidos al tráfico rodado. En este estudio también se ha tenido en cuenta los valores de emisión industrial publicados en el Registro de emisiones y fuentes contaminantes (EPER).

Para estimar la emisión de COVs no metanizados (ϕ COVs) por la actividad industrial hemos multiplicado cada uno de los valores de emisión de SO_2 (ϕSO_2) por la relación molar entre la especie volátil “i” y el SO_2 (C_i/CSO_2) y por la relación de sus respectivos pesos moleculares.

$$\phi_i = \phi_{SO_2} \cdot C_i / C_{SO_2} \cdot PM_i / PMSO_2 \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Las medidas del flujo de SO_2 emitido por la actividad industrial se han realizado utilizando un espectrómetro de correlación tipo COSPEC V. Las concentraciones de SO_2 fueron determinadas mediante un espectrómetro de fluorescencia ultravioleta (UV) y las concentraciones de COVs no metanizados fueron determinadas mediante un cromatógrafo de gases modelo VARIAN 3800 con un detector de ionización de llama y un GC/MS/MS modelo VARIAN Saturn 2000.

5.2.2 Medidas in-situ de la emisión de SO_2 a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife

Para estimar el caudal de SO_2 que emiten a la atmósfera la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife y las centrales térmicas de Caletillas y Granadilla se tomaron medidas remotas con un sensor óptico remoto tipo COSPEC V montado en un vehículo (Figura 5.3).

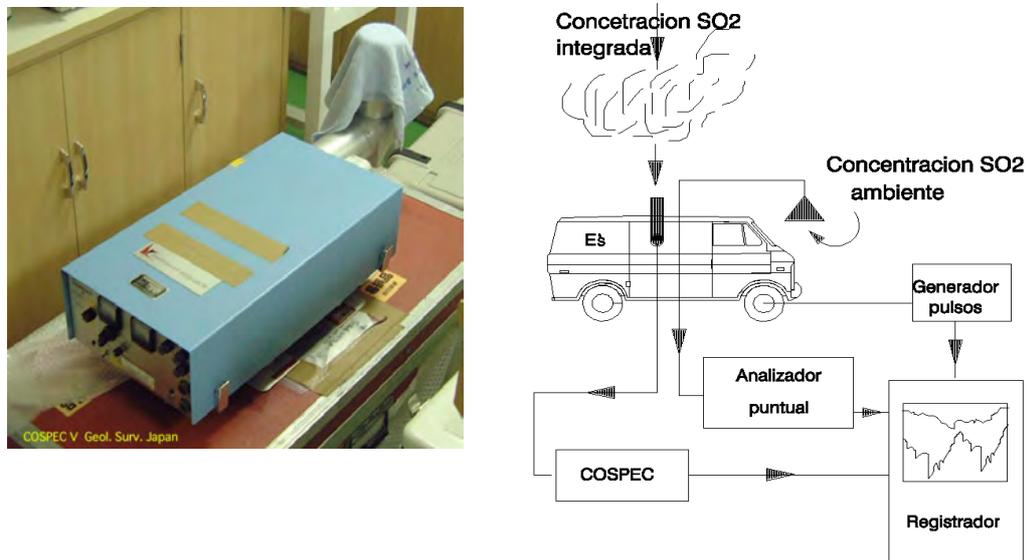


Figura 5.3.- Vista en detalle del COSPEC, instrumento utilizado para la monitorización remota de las emisiones de SO_2 y esquema del sistema de media en posición móvil-terrestre para el seguimiento de SO_2 .

El COSPEC (COrrrelation SPECtrometer), fue desarrollado por la compañía canadiense Barringer Research para la monitorización remota de las emisiones de SO_2 procedentes de la actividad industrial. El COSPEC es un instrumento

muy versátil que permite realizar medidas en posición fija (trípode), posición móvil-terrestre (automóvil), y posición móvil-aérea (avioneta). Es un sensor pasivo que usa la radiación natural dispersada procedente del cenit como fuente de radiación para la medida de gases empleando la espectroscopía de correlación dispersiva como técnica de medida.

Los principios de la espectroscopía de correlación dispersiva han sido bien documentados (Millán et al., 1969; Newcomb & Millán, 1970; Moffat & Millán; 1971). La detección se efectúa analizando la absorción de SO₂ en una banda de longitudes de onda con estructuras de bandas de absorción características (300-316 nm para el SO₂). El producto de la concentración por la distancia (ppm·m) medido por el COSPEC, se multiplica por la sección del penacho (m). Este resultado genera el SO₂ a lo largo de una sección (ppm·m²) que es multiplicado por la velocidad (m/s) a la cual el penacho atraviesa esta área para obtener la tasa de emisión de SO₂ (ppm·m³·s⁻¹). Los recorridos realizados con el laboratorio móvil se planifican atendiendo a la red de carreteras disponible y procurando efectuar trayectos transversales al desplazamiento de las emisiones alejándose del foco y acercándose al mismo varias veces.

5.2.3 Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados

Descrita en los apartados 2.2.2 y 2.2.3

5.2.4 Análisis de SO₂ en la baja troposfera de las proximidades de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife

La Unidad móvil para la medida de contaminantes atmosféricos está dotada de sensores para la medida de la inmisión en modo continuo de SO₂. El analizador de dióxido de azufre (SO₂) ML®9850B es un espectrómetro de fluorescencia ultravioleta (UV) diseñado para la medida en continuo de bajas concentraciones de SO₂ en el aire ambiente. Aunque el rango de medida establecido de fábrica para el analizador está comprendido entre 0 y 20 ppm con una resolución de 0,001 ppm, en el analizador instalado en la unidad móvil para la medida de contaminantes atmosféricos se reguló a un rango de medida de concentración de entre 0 y 0,5 ppm (500 ppb), teniendo la misma resolución. El

analizador de SO_2 está basado en principios de espectroscopia de fluorescencia clásicos el ML®9850B utiliza una lámpara UV de descarga sin electrodos de Zn, de la que mediante una filtro pasabanda se obtiene radiación UV a 314 nm, con la que se irradia la celda donde se encuentra la muestra. La fluorescencia resultante es emitida uniformemente en todas las direcciones. La parte de la fluorescencia que es emitida perpendicularmente al haz de excitación, es recogida y dirigida hacia un tubo fotomultiplicador. La cantidad de fluorescencia emitida se relaciona directamente con la concentración de SO_2 en la muestra.

El analizador está compuesto por tres módulos diferentes: un sensor óptico, un módulo pre-procesador de señales electrónicas analógicas y un sistema neumático que lleva a cabo la toma de muestras. Cabe destacar que la óptica con la que está dotado el analizador de dióxido de azufre consta de:

- una lámpara ultravioleta de descarga sin electrodos de Zinc. Constituida básicamente por un tubo de cuarzo herméticamente cerrado que contiene un gas inerte (a unos pocos torr.) y una pequeña cantidad del metal (Zn) cuyo espectro se desea obtener.
- un filtro pasabanda UV de 214 nm Fabry-Perot que separa la radiación procedente de la lámpara de descarga de zinc
- lentes de sílice regulables
- un filtro pasabanda óptico de 350 nm de vidrio coloreado, que limita la luz que alcanza el tubo fotomultiplicador (PMT) a la frecuencia de interés para los fotones emitidos durante la reacción del SO_2
- un tubo fotomultiplicador sensible a la radiación UV que detecta la cantidad de radiación de 350 nm que es proporcional a la concentración de SO_2 presente en la muestra.
- un detector de referencia UV de estado sólido que consta de: un fotodiodo que controla la intensidad de la luz ultravioleta que entra en la célula de medida y es usada para compensar las variaciones en la señal de la lámpara UV.

La calibración del analizador de SO₂ se lleva a cabo mensualmente dada la alta estabilidad temporal del equipo. Para cometer la calibración del sensor de SO₂ se calibra primero el cero del equipo, introduciendo aire limpio en el que se ha eliminado cualquier traza de SO₂. El rango de concentraciones establecido en el analizador de SO₂ como se ha descrito anteriormente, se fijó entre 0 y 0,5 ppm, por lo que para calibrar el span o sensibilidad de la recta de calibración del equipo se utiliza una concentración de 0,4 ppm (400 ppb).

5.3 Resultados y Discusión

5.3.1 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por la Refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife

Como anteriormente se ha comentado, para calcular de la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad industrial en Tenerife, se realizó la toma de muestras durante la noche en las proximidades de la refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife. De esta manera se evitan las interferencias de las emisiones de COVs no metanizados originadas por el tráfico rodado. Los resultados de estos ensayos no han sido satisfactorios, ya que una refinería de petróleo no sólo emite COVs no metanizados a través de sus chimeneas sino a lo largo de todo su recinto. Se emiten de manera fugitiva o exhausta numerosas emisiones que nos son imposibles de cuantificar. En la Tabla 5.1 se muestran los resultados de nuestro experimento.

Tabla 5.1. Emisión de COVs y SO₂ a la atmósfera por la refinería de Petróleo de Santa Cruz de Tenerife.

ϕ COVs (kg·h ⁻¹)	ϕ SO ₂ (kg·h ⁻¹)	Promedio de SO ₂ (μ gr·m ³)	Promedio de COVs (μ gr·m ³)
2060,9	362.2	8.3	47.3

El caudal de COVs no metanizados a la atmósfera por la refinería de petróleo de Santa Cruz ha sido estimado en 2060,9 Kg·h⁻¹. Esto implica una

emisión anual a la atmósfera de $18053,6 \text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ de COVs no metanizados. Estos resultados son un orden de magnitud superior a los expuestos en el registro de emisiones y fuentes contaminantes (EPER). A la espera de una mejor estimación de la emisión de COVs no metanizados por parte de la refinería de petróleo utilizaremos los datos publicados en el registro de emisiones y fuentes contaminantes (EPER). Los valores publicados en el EPER han sido obtenidos en la refinería de petróleo de Santa Cruz tras la realización de medidas en una de las chimeneas de dicho complejo industrial y posteriormente han sido remitidos a EPER España.

5.3.2 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por Centrales Termoeléctricas

En la Tabla 5.2 se muestran los valores de emisión de benceno a la atmósfera por parte de las refinerías de petróleo de España. Actualmente existen diez complejos industriales en España dedicados al refinado del petróleo y del gas. Estas instalaciones de combustión son; BP OIL Refinería de Castellón, S.A. (Castellón), Refinería de Gibraltar (Cádiz), Refinería de la Rábida (Huelva), Repsol YPF Refino y Logística Complejo Industrial de Tarragona (Tarragona), Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña (La Coruña), Repsol Petróleo, S.A. (Ciudad Real), Repsol Petróleo, S.A. - C.I. Cartagena (Murcia), Asfaltos Españoles (Tarragona), Petróleos del Norte, Petronor, S.A. (Vizcaya) y Refinería Tenerife (S/C de Tenerife). De estas diez refinerías de petróleo existen tres que no publican datos sobre las emisiones de benceno a la atmósfera (Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña (La Coruña), Repsol Petróleo, S.A. - C.I. Cartagena (Murcia) y Petróleos del Norte, Petronor, S.A. (Vizcaya). Otros complejos industriales como la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife tiene publicado las emisiones de benceno sólo para el año 2001, mientras que para el resto de los años no hay datos.

Si comparamos los datos publicados en el EPER atendiendo al valor medio de las emisiones, podemos concluir que la refinería de petróleo de Santa Cruz de

Tenerife es la tercera refinería en magnitud de emisiones contaminantes de benceno a la atmósfera de España.

Tabla 5.2. Emisión de benceno a la atmósfera por las refinerías de petróleo en España (EPER).

Complejo	Año del informe	kg·a ⁻¹	Complejo	Año de reporte	kg·a ⁻¹
BP OIL Refinería de CastellónSA	2001	9290	Repsol YPF Complejo Industrial de Tarragona	2004	4080
BP OIL Refinería de CastellónSA	2002	3300	Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña	-	-
BP OIL Refinería de CastellónSA	2003	3260	Repsol PetróleoSA	2004	3210
BP OIL Refinería de CastellónSA	2004	3660	Repsol PetróleoSA	2005	3110
BP OIL Refinería de CastellónSA	2005	3980	Repsol PetróleoSA - CI Cartagena	-	-
Refinería de Gibraltar	2001	27000	Asfaltos EspañolesSA	2001	1330
Refinería de Gibraltar	2002	27400	Asfaltos EspañolesSA	2002	1390
Refinería de Gibraltar	2003	29800	Asfaltos EspañolesSA	2003	1420
Refinería de Gibraltar	2004	34000	Petróleos del Norte Petronor SA	-	-
Refinería de Gibraltar	2005	33500	Refinería Tenerife	2001	6620
Refinería de la Rábida	2001	16600			
Refinería de la Rábida	2002	33300			
Refinería de la Rábida	2003	13300			
Refinería de la Rábida	2004	12300			

El complejo de combustión que más benceno emite a la atmósfera es sin lugar a dudas la Refinería de Gibraltar, seguida muy de cerca por la refinería de la Rábida, en tercer lugar se sitúa la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife y en orden descendente se encuentran la refinería de Repsol YPF Complejo Industrial de Tarragona, la refinería BP OIL de Castellón, Repsol Petróleo y Asfaltos Españoles. En la tabla 5.3.a y b podemos observar las tasas de emisión de COVs no metanizados por las diferentes refinerías de petróleo existentes en España. Los resultados mostrados en dichas Tablas (Tabla 5.3 a y b) indican que la refinería de petróleo del Norte, Petronor, S.A., es la que emite una mayor cantidad de COVs no metanizados a la atmósfera. La segunda refinería con una mayor tasa de emisión es la refinería Repsol Petróleo, S.A. de Ciudad Real. Es interesante observar como esta refinería es una de las que emite una mayor cantidad de COVs no metanizados a la atmósfera y, sin embargo, sea la que presente los menores valores de concentración de benceno (Tabla 5.2). La refinería de la Rábida es la tercera en términos de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera y la segunda en emisión de benceno a la atmósfera como hemos observado anteriormente. Nuevamente la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife ocupa uno de los primeros puestos en la lista de refinerías con mayor emisión de contaminantes si atendemos a los valores de emisión de COVs no metanizados para el año 2001 y publicados en el EPER. Si para el caso de estudio del benceno era la tercera refinería emisora de este contaminante, para el conjunto de COVs no metanizados se sitúa en la cuarta posición de refinerías españolas emisoras de dichos compuestos. Los datos de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera para los años 2005 y 2006 y escritos en cursiva en la Tabla 5.3.b han sido facilitados en comunicación personal por Don Álvaro García García, Director de la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife. Según estos datos, la refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife sería la que presenta una menor tasa de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera del total de refinerías españolas. Nosotros nos regiremos solamente por los datos oficiales publicados en el EPER durante nuestro periodo de estudio.

Tabla 5.3.a Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por las refinерías de petróleo en España (EPER).

Complejo	Año de informe	kg.a ¹	Complejo	Año de reporte	kg.a ¹
BP OIL Refinería de CastellónSA	2002	2260000	Repsol YPF Complejo Indde Tarragona	2004	3750000
BP OIL Refinería de CastellónSA	2003	2180000	Repsol YPF Complejo Industrial de Tarragona	2005	1300000
BP OIL Refinería de CastellónSA	2004	2890000	Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña	2001	2220000
BP OIL Refinería de CastellónSA	2005	2550000	Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña	2005	985000
Refinería de Gibraltar	2001	1170000	Repsol Petróleo SA	2001	3330000
Refinería de Gibraltar	2002	1230000	Repsol Petróleo SA	2004	4920000
Refinería de Gibraltar	2003	1290000	Repsol Petróleo SA	2005	5070000
Refinería de Gibraltar	2004	1320000	Repsol Petróleo SA - CI Cartagena	2001	1660000
Refinería de Gibraltar	2005	1300000	Repsol Petróleo SA - CI Cartagena	2002	1660000
Refinería de la Rábida	2001	5060000	Repsol Petróleo SA - CI Cartagena	2003	1790000
Refinería de la Rábida	2002	4730000	Repsol Petróleo SA - CI Cartagena	2004	1820000
Refinería de la Rábida	2003	3640000	Repsol Petróleo SA - CI Cartagena	2005	2190000
Refinería de la Rábida	2004	3510000	Asfaltos Españoles	2001	571000
Refinería de la Rábida	2005	2450000	Asfaltos Españoles	2002	563000
Repsol YPF Complejo Industrial de Tarragona	2001	3190000	Asfaltos Españoles	2003	375000
Repsol YPF Complejo Ind de Tarragona	2003	3820000	Asfaltos Españoles	2004	191000

Tabla 5.3.b Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por las refinерías de petróleo en España (EPER).

Complejo	Año del informe	Kg·a ⁻¹
Asfaltos Españoles	2005	212000
Petróleos del Norte, Petronor, S.A.	2001	4210000
Petróleos del Norte, Petronor, S.A.	2002	4210000
Petróleos del Norte, Petronor, S.A.	2003	6640000
Petróleos del Norte, Petronor, S.A.	2004	7120000
Refinería Tenerife	2001	3250000
Refinería Tenerife	2005	187000
Refinería Tenerife	2006	167000

Le siguen en tasa de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera la refinерía de Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña, la Refinería de Castellón, S.A., la Refinería Repsol Petróleo, S.A. - C.I. Cartagena, la Refinería Repsol YPF Complejo Industrial A Coruña, la Refinería de Gibraltar y Asfaltos Españoles. Es muy curioso observar como la Refinería de Gibraltar es la que mayores niveles de benceno emiten ala atmósfera de todas las refinерías estudiadas y sin embargo es la que menos COVs no metanizados emite.

5.4 Conclusiones

1) La refinерía de petróleo de Santa Cruz de Tenerife es el cuarto complejo industrial emisor a la atmósfera de COVs no metanizados según el *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes* (EPER).

2) La refinерía de petróleo de Santa Cruz de Tenerife es la tercera industria de nuestro país en emisiones de benceno a la atmosfera según el *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes* (EPER).

3) Los datos proporcionados por la dirección de la refinерía de petróleo de Santa Cruz de Tenerife son obtenidos de las muestras analizadas en una de las

chimeneas de la refinería, se hace necesario un estudio más exhaustivo de las otras fuentes de emisión fugitivas de COVs no metanizados a la atmósfera en dicha planta industrial para una mejor estimación de los mismos. Una refinería de petróleo emite contaminantes a lo largo de los conductos utilizados para el trasvase de combustible, los tanques de almacenamiento de combustible y existen numerosas emisiones fugitivas que tienen lugar a través de estas enormes instalaciones industriales.

Emisiones de
Compuestos
Orgánicos Volátiles
no metanizados a la
atmósfera por la
actividad ganadera
en la Isla de Tenerife



6.1 Introducción

6.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

6.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en la isla de Tenerife

6.2.2 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

6.2.3 Tratamiento estadístico

6.3 Resultados y Discusión

6.3.1 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en la isla de Tenerife

6.3.2 Emisión de COVs no metanizados por a la atmósfera por la actividad ganadera en otros ambientes de estudio

6.4 Conclusiones

6.1 Introducción

La emisión de COVs no metanizados en granjas agropecuarias y/o explotaciones ganaderas se ha asociado a gases irritantes y malos olores provenientes de este tipo de instalaciones (Blundem et al., 2005). La emisión de compuestos olorosos desde estas explotaciones ganaderas se produce por la fermentación anaeróbica incompleta de los residuos ganaderos por parte de las bacterias (Mackie et al., 1998). En las vaquerías las fuentes de olor son múltiples; degradación de estiércol, aplicación de tierra para deshechos animales, etc. (Mount et al., 2002; NRC, 2003). Las quejas de las personas que viven cerca de estas granjas agropecuarias, como ocurre en los EE.UU. han obligado a la Agencia de la Protección del Medioambiente de los EE.UU. (EPA, 2003) y al Departamento Americano de Agricultura (USDA) a preocuparse por dichas emisiones. Según un informe del NRC (US National Research Council) compuestos como el amoníaco (NH_3), los COVs no metanizados y el sulfuro de hidrógeno (H_2S) tiene un efecto importante en la calidad de vida de los residentes que viven cerca de granjas agropecuarias y explotaciones ganaderas (NRC, 2003). Estas actividades ganaderas y sus impacto medioambiental está generando una preocupación creciente en países como los EEUU (Filipy et al., 2005). El desarrollo de la industria ganadera, el aumento creciente en el número de cabezas de ganado, y las emisiones de gases olorosos que emiten estas industrias agropecuarias debido a la alta densidad de animales confinados en las mismas, han despertado la atención del público en los últimos años (NRC, 2003).

A pesar de este creciente interés, son escasos los datos sobre emisiones de COVs no metanizados en granjas agropecuarias y/o explotaciones ganaderas. Rabaud et al. (2003), identificó en el aire-ambiente de una pequeña vaquería industrial localizada en California 35 compuestos entre ácidos, alcoholes, aldehídos, ésteres, cetonas, compuestos halogenados y aminas. Filipy et al. (2005), identificó y cuantificó 82 compuestos orgánicos en una granja de vacas de la Universidad de Washington. Blundem et al. (2005), realizó la

caracterización de COVs no metanizados en cuatro granjas de cerdos en Carolina del Norte en diferentes estaciones del año.

La ganadería en Canarias ha estado siempre destinada al consumo interno insular. La escasez de prados con forraje siempre ha sido un obstáculo para el desarrollo ganadero de las islas. Podemos diferenciar dos tipos de explotaciones ganaderas en las islas; 1) la ganadería tradicional, que se corresponde con explotaciones de tipo familiar, con un número limitado de cabezas de ganado y cuya alimentación está vinculada a las actividades agrícolas y/o a los recursos forrajeros locales, y 2) la ganadería de tipo intensivo, que tiene un carácter empresarial e incorpora niveles tecnológicos y de manejo de ganado superiores a los de la ganadería tradicional. Comprende tanto las grandes explotaciones de bovino, como las granjas de porcino, avícolas y cunícolas (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y alimentación del Gobierno de Canarias). En este capítulo hemos estimado la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en la isla de Tenerife. Para materializar este objetivo, hemos realizado un experimento en una vaquería típica de explotación ganadera tradicional en el municipio de la Laguna para determinar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera (Figura 6.1).



Figura 6.1.- Vista del interior de la vaquería durante el periodo de estudio.

6.2 Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos

6.2.1 Diseño Experimental y Cuantificación de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en Tenerife

En Mayo de 2007 se realizó un experimento para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en Tenerife. Para calcular dicha emisión de COVs no metanizados se procedió a la toma de muestras de gases en el interior de una vaquería desde las nueve de la mañana hasta las cuatro de la tarde. La toma de muestras se realizó en el interior de la vaquería cuando esta no tenía animales en su interior, estaba ventilada y el aire-ambiente de la misma era limpio. Posteriormente, se introdujo el ganado y se cerró completamente la vaquería. En este ambiente confinado se procedió a la toma de muestras de COVs no metanizados mediante canisters de acero inoxidable previamente evacuados el vacío (Figura 6.2).



Figura 6.2.- Toma de muestras de COVs no metanizados en el interior de la vaquería durante el periodo de estudio.

En la vaquería se instalaron ventiladores en el techo y suelo de la misma para homogenizar el aire-ambiente del interior del recinto agropecuario. Se tomaron un total de 13 canisters cada media hora desde las 10:00 hasta las 16:00 horas

para observar el aumento de COVs no metanizados en el interior de la vaquería con respecto al tiempo (Figura 6.3).

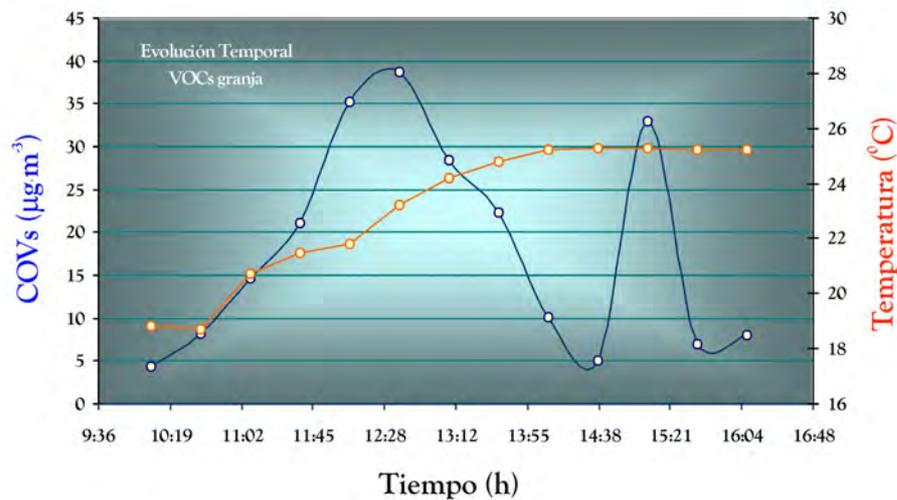


Figura 6.3.- Evolución temporal de COVs en el interior de la vaquería durante el periodo de estudio.

Para estimar la emisión de COVs no metanizados (ϕ COVs) por la actividad ganadera, representamos en gráficamente la concentración de los COVs no metanizados respecto al tiempo (Figura 6.4).

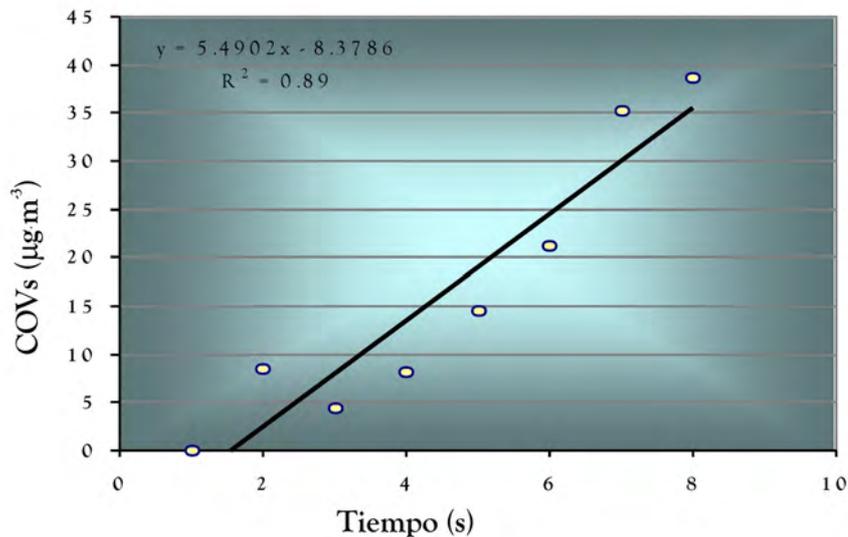


Figura 6.4.- Evolución temporal de COVs en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

En las gráficas de la evolución temporal de COVs el tiempo se denota como 2, 4, 6 y 8 equivaliendo a las 10:38, 11:38, 12:38 y 13:38, respectivamente. Para

el cálculo del flujo de COVs no metanizados (ϕ COVs) tenemos en cuenta la pendiente inicial de la curva en los primeros momentos de medida, es decir, el incremento de la concentración de COVs no metanizados cuando $t \rightarrow 0$.

6.2.2 Toma de Muestras y Análisis de COVs no metanizados

Descrita en los apartados 2.2.2 y 2.2.3

6.3 Resultados y Discusión

6.3.1 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en Tenerife

En el experimento realizado en el interior de la vaquería se determinó además de la concentración y la tasa de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera, la concentración y la tasa de emisión de otros componentes como el CO_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S etc. Un total de ocho COVs no metanizados han sido identificados y cuantificados en el aire ambiente del interior de la vaquería; diclorometano, benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,3,5-trimetilbenceno. En la Tabla 6.1 se muestra el promedio de los valores de concentración de estos COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de esta granja. Los valores de concentración de tolueno son los más altos del total de COVs no metanizados determinados.

En las Figuras 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 y 6.11 se muestran las gráficas de evolución temporal del benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, radicales bencénicos e hidrocarburos aromáticos no halogenados en los primeros instantes de medida dentro de la vaquería. Estas curvas han sido utilizadas para el cálculo de las emisiones de estos COVs no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en la isla. Sin embargo, no se presenta la gráfica que representa a los hidrocarburos aromáticos halogenados, ya que para el cálculo de dichas emisiones de COVs no metanizados utilizamos la pendiente de la curva en los primeros instantes de medida (desde la 8:00h hasta la 12:00h). Solamente se ha identificado y cuantificado un hidrocarburo halogenado que es el diclorometano, y este sólo fue detectado en una muestra tomada a la 16:00h.

Tabla 6.1. Valores promedio de la concentración de COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de la vaquería.

COVs	Promedio concentración(ppbV)
diclorometano	0,09
benceno	0,30
tolueno	1,70
etilbenceno	0,37
m+p-xileno	0,62
o-xileno	0,35
1,2,4-trimetilbenceno	0,36
1,3,5-trimetilbenceno	0,81
BTEX	3,34
Radicales bencénicos	1,54
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	4,51
Hidrocarburos halogenados	0,09
COVs totales	4,60

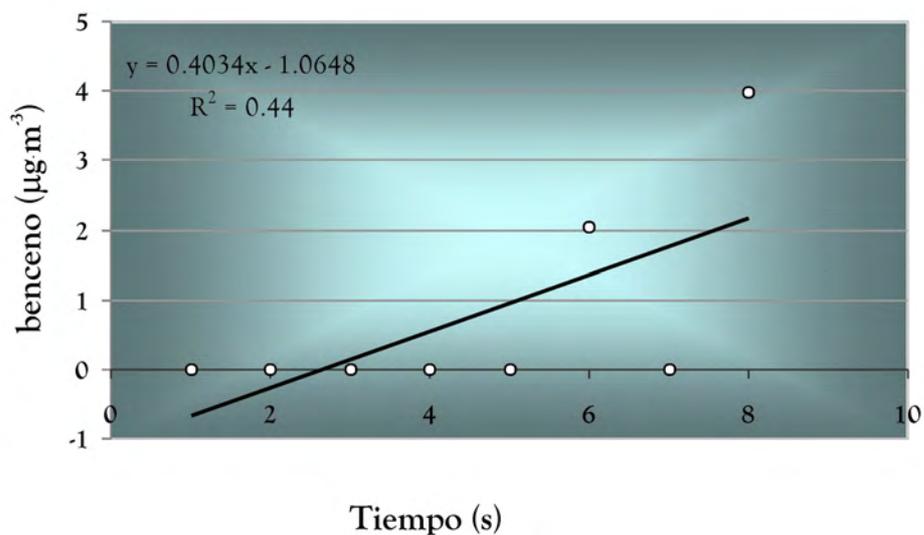


Figura 6.5.- Evolución temporal de benceno en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

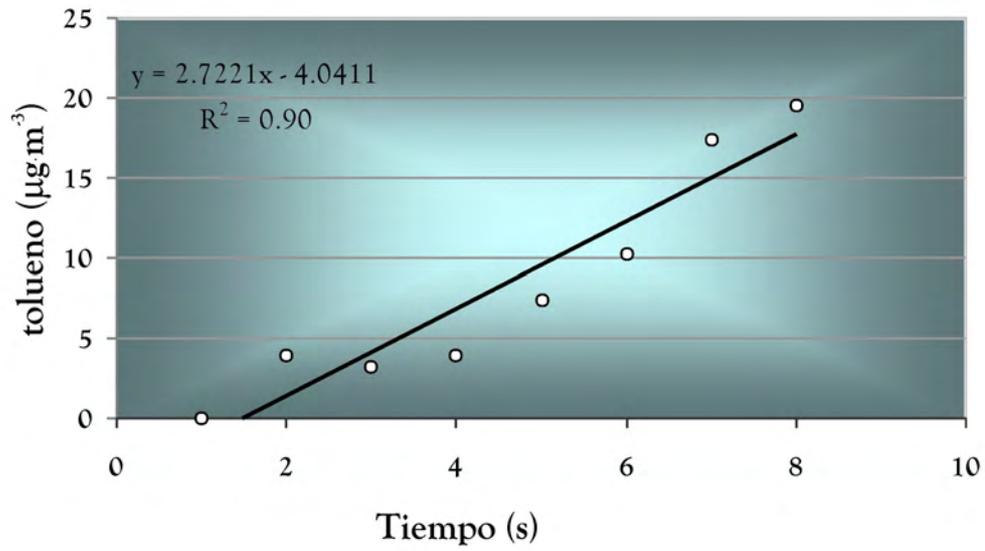


Figura 6.6.- Evolución temporal de tolueno en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

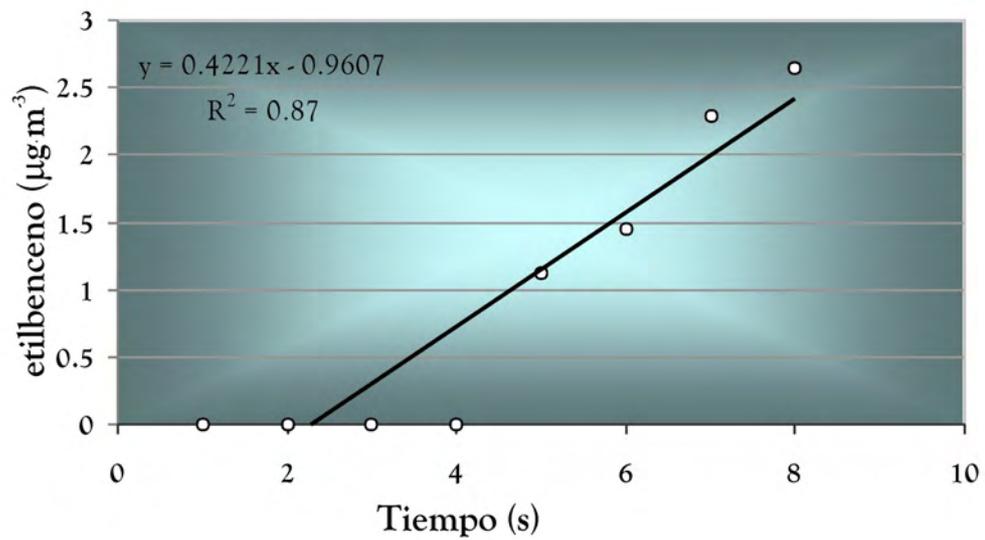


Figura 6.7.- Evolución temporal de etilbenceno en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

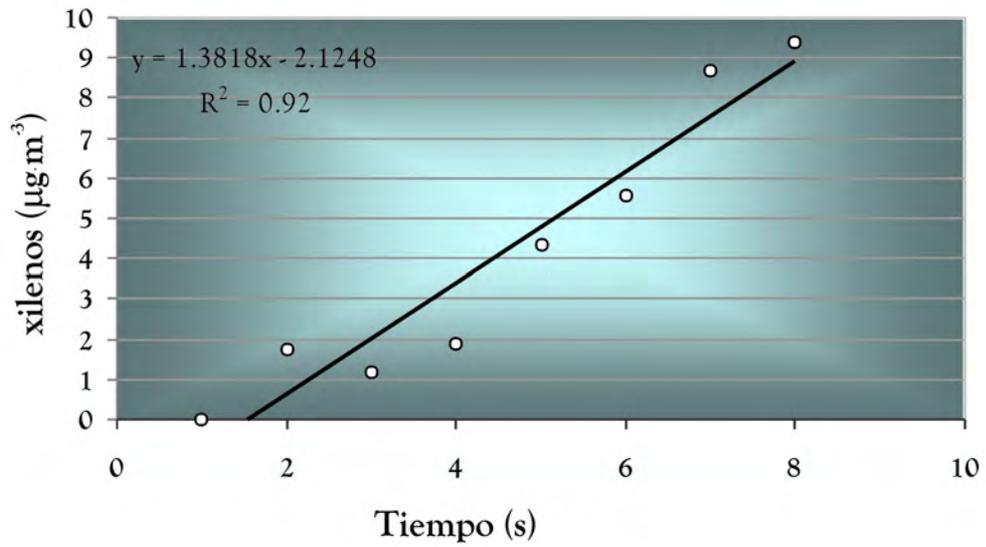


Figura 6.8.- Evolución temporal de xilenos en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

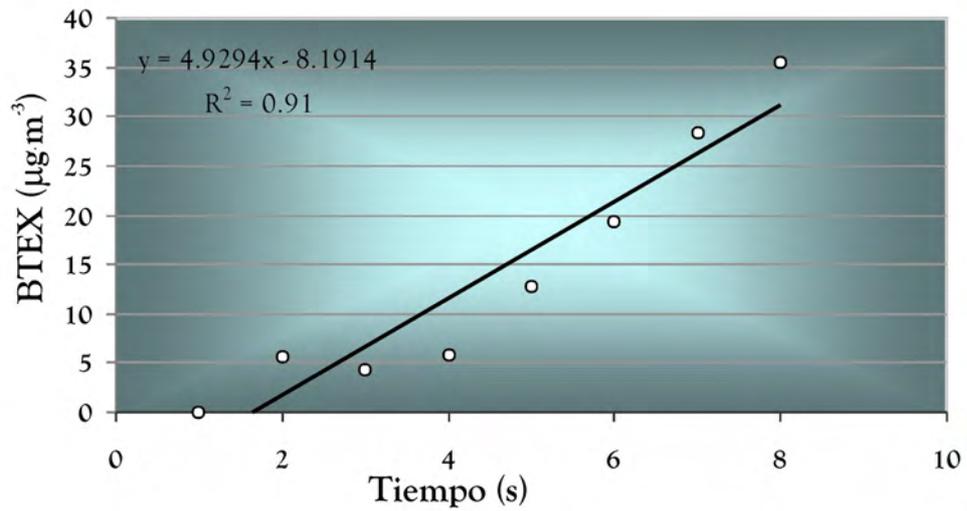


Figura 6.9.- Evolución temporal de BTEX en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

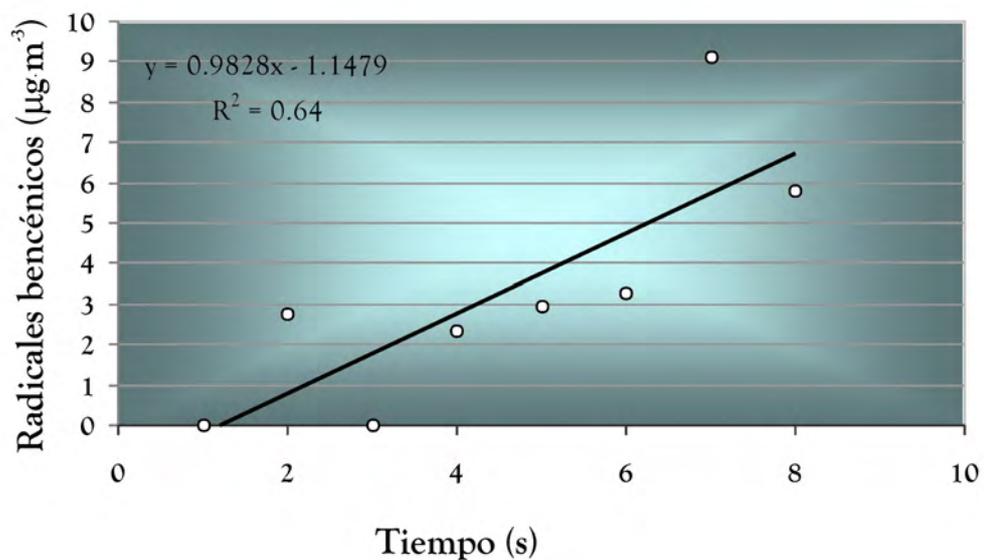


Figura 6.10.- Evolución temporal de Radicales bencénicos en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

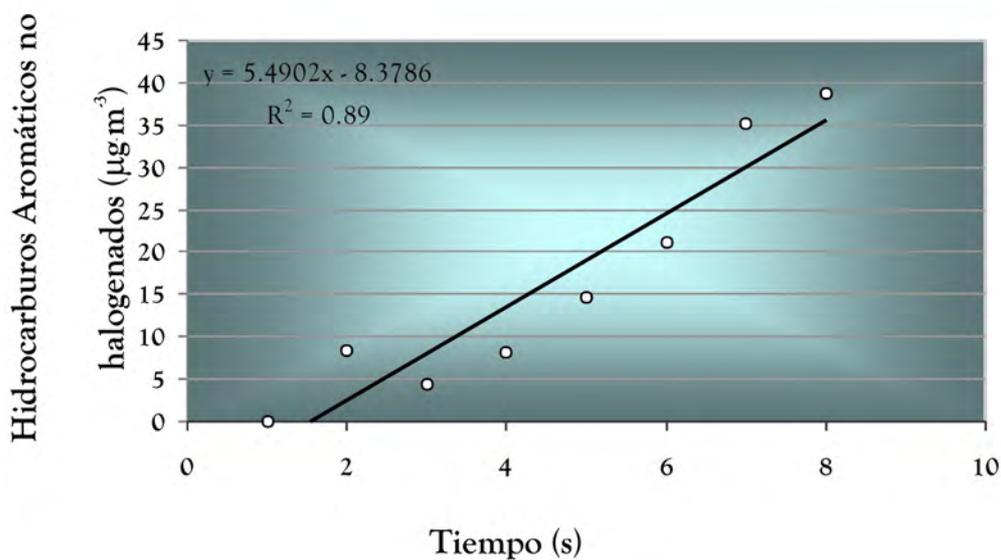


Figura 6.11.- Evolución temporal de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en el interior de la vaquería durante los primeros instantes de medida.

Los coeficientes de correlación observados en las representaciones gráficas de la evolución temporal de los COVs no metanizados observados son óptimos, excepto para el caso del benceno. Esto es debido a que en los primeros instantes

de medida solo se identificó y cuantificó el benceno en dos muestras. Con la ecuación de la pendiente de la curva que se forma en los primeros momentos de medida calculamos el flujo de los diferentes COVs no metanizados estudiados. Conociendo los datos de emisión de dichos COVs no metanizados y dividiéndolos por el número de vacas existentes en el momento del experimento (20 vacas) podemos estimar los gramos de COVs no metanizados que emite una vaca por unidad de tiempo.

En la Tabla 6.2 se presenta la emisión de los COVs no metanizados por animal al año y la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera debidas al ganado vacuno en Tenerife y Canarias. Para estimar la emisión diaria de COVs a la atmósfera por el ganado vacuno en la isla y en toda la Comunidad Autónoma de Canarias, sólo es necesario multiplicar la emisión de cada animal al año por el número de cabezas de ganado que tiene cada área de estudio y dividirla por los 365 días del año. En la tabla 6.2 se puede observar como de los BTEX estudiados es el tolueno el que sin lugar a dudas presenta unos mayores valores de emisión, seguidos de los xilenos, etilbenceno y en menores niveles de emisión encontramos al benceno.

Según datos obtenidos en este estudio, la ganadería en la isla de Tenerife estaría emitiendo a la atmósfera del orden de $140 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ de COVs no metanizados. De estos COVs no metanizados, el 89.8% de la emisión correspondería a compuestos orgánicos BTEX. Los cálculos estimados para la Comunidad Autónoma de Canarias indican niveles de emisión de COVs no metanizados a la atmósfera de $400 \text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$, contribuyendo los compuestos BTEX al total de la emisión en un 89.7% de COVs no metanizados.

Tabla 6.2. Emisión de los COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de la vaquería por el ganado vacuno en Tenerife y Canarias.

COVs	Emisión g·a ⁻¹ ·vaca	Emisión g·d ⁻¹	
		Ganadería Tenerife (6000 cabezas de ganado)	Ganadería Canarias (20500 cabezas de ganado)
benceno	0,64	10,46	35,73
tolueno	4,29	70,56	241,07
etilbenceno	0,67	10,94	37,38
xilenos	2,18	35,82	122,37
BTEX	7,77	127,77	436,55
Radicales bencénicos	1,55	25,47	87,04
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	8,66	142,31	486,21
COVs totales	8,66	142,31	486,21

6.3.2 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por la actividad ganadera en otros ambientes de estudio

En la actualidad existen muy pocos estudios sobre emisiones de COVs en industrias agropecuarias. Filipy et al. (2005), realizó un experimento en una granja de vacas de la Universidad de Washington con el objeto de identificar y cuantificar numerosos compuestos. Estos compuestos incluyen alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, éteres, hidrocarburos aromáticos, hidrocarburos halogenados, terpenos, otros hidrocarburos, aminas, compuestos que contienen nitrógeno y compuestos que contienen azufre. En su estudio logró identificar ochenta y dos compuestos. La concentración de COVs determinada en este estudio está directamente asociada con los residuos del ganado y aumentan con la temperatura del aire ambiente, en este estudio las concentraciones más altas se

registraron durante los meses de verano. En la Tabla 6.3 se muestra una comparativa de los valores de concentración determinados por Filipy et al. (2005), en este experimento y los cuantificados en el experimento realizado por nosotros en el experimento en la vaquería.

Tabla 6.3. Valores de concentración de COVs no metanizados determinados en el aire ambiente de la vaquería y en el experimento realizados en la granja de vacas de la Universidad de Washington por Filipy et al., 2005.

COVs	Vaquería Tenerife (ppbV)	Granja de vacas de la Universidad de Washington (ppbV ^a)
diclorometano	0,09	0,197-1,98
benceno	0,30	0,213-0,375
tolueno	1,70	0,069-564
etilbenceno	0,37	0,018-0,047
m+p-xileno	0,62	0,010-0,018
o-xileno	0,35	?
1,2,4-trimetilbenceno	0,36	0,041-0,621
1,3,5-trimetilbenceno	0,81	0,041-0,621
Fecha del Experimento	Mayo 2007	Nov 01-Oct 03
Toma de Muestras	Canister	Tubos absorbentes
Equipo utilizado	GC/MS/MS	GC/MS/MS
Método	EPA TO-14	?

^aFilipy et al., 2005 ? se desconoce

El artículo científico publicado por Filipy et al. (2005), no hace alusión alguna al método utilizado para la determinación de COVs. En este estudio se ha seguido el método TO-14 establecido por la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos. Ambos experimentos han utilizado la misma instrumentación analítica para la determinación de COVs no metanizados aunque la toma de muestra ha sido realizada con diferentes

recipientes. En el experimento realizado en la granja de vacas de la Universidad de Washington, la toma de muestra se realizó con tubos absorbentes que concentraban la muestra durante un intervalo de tiempo de 15 a 30 minutos. La granja de vacas donde Filipy et al. (2005), realizaron este experimento consta con un total de 414 vacas lecheras Holstein y 165 terneros lactantes, en nuestro caso de estudio, contamos con 20 vacas, de las cuales 14 vacas son vacas lecheras y 6 son vacas para producción de carne. Si observamos los niveles de concentración en la atmósfera de ambas vaquerías para el diclorometano vemos como los valores registrados en nuestro experimento son considerablemente inferiores a los detectados por Filipy et al. (2005). Por el contrario los niveles de concentración de benceno, tolueno, 1,2,4 trimetilbenceno y 1,3,5 trimetilbenceno presentan el mismo orden de magnitud en ambas granjas. Los valores de concentración de etilbenceno y m+p xileno son considerablemente superiores a los registrados en la granja de vacas de la Universidad de Washington. COVs no metanizados como el o-xileno no son determinados en este experimento realizado por Filipy et al. (2005).

6.4 Conclusión

- 1) La emisión a la atmósfera de COVs no metanizados por la ganadería de la isla de Tenerife y de la Comunidad Autónoma de Canarias han sido evaluadas en 140 y 400 g·d⁻¹, respectivamente.
- 2) Los compuestos BTEX contribuyen en un 89% al total de la emisión de COVs no metanizados por el ganado vacuno en Tenerife y resto de la Comunidad Autónoma.
- 3) Los datos obtenidos en este estudio han sido comparados con otro estudio realizado en otra granja agropecuaria observando en ambos similares resultados.

Emisiones de
Compuestos
Orgánicos Volátiles
no metanizados a la
atmósfera por la
actividad volcánica
en la Isla de Tenerife



7.1 Introducción

7.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

7.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide

7.2.2 Medidas in-situ de la emisión de CO₂ a la atmósfera por volcanes

7.2.3 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

7.2.4 Análisis del gas volcánico por microcromatografía de gases

7.2.5 Tratamiento estadístico

7.3 Resultados y Discusión

7.3.1 Emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide

7.3.2 Emisión de COVs no metanizados por a la atmósfera por otros sistemas volcánicos

7.4 Conclusiones

7.1 Introducción

La influencia de los volcanes en la historia de la humanidad es innegable: condicionan completamente la vida de los pueblos y ciudades situados cerca de ellos pudiendo transformar dramáticamente el entorno. La humanidad ha vivido a lo largo de la historia atemorizada por su presencia, debido en gran medida a la pérdida de vidas humanas y de propiedades, especialmente en zonas volcánicas densamente pobladas. Sin embargo, los volcanes producen numerosos beneficios económicos a la humanidad, ya que aumentan la fertilidad de los suelos, la ceniza y los materiales piroclásticos pueden convertir los suelos en extremadamente fértiles y permiten a los agricultores obtener abundantes cosechas, aportan al terreno materiales de construcción, yacimientos minerales y productos para la industria. Los volcanes también producen fuentes termales, géiseres, fumarolas y solfataras. Las aguas o fuentes termales componen un gran atractivo turístico ya que ofrecen la posibilidad de ser aprovechadas por las propiedades medicinales atribuidas a sus aguas. Además de las fuentes termales, el propio paisaje volcánico es un importante reclamo turístico. Las solfataras son una importante fuente de obtención de azufre, y además es posible emplear la inagotable energía calorífica de los géiseres o de la propia energía geotérmica para generar electricidad sin causar problemas de contaminación. Por último, los volcanes originan islas y archipiélagos que, como en el caso de las Islas Canarias, son refugio de ecosistemas únicos.

Cuando el magma aflora en superficie debido al aumento considerable de presión y temperatura provocada por los gases disueltos acumulados en él, se produce una erupción volcánica. El magma asciende mediante fracturas abiertas por la presión del magma (Pollard, 1987; Gudmundsson et al., 1999; Gudmundsson & Marinoni, 1999) y/o a favor de discontinuidades previas tales como fallas, diques, etc (Connor et al., 1992; Pollard, 1987). Los gases volcánicos son el motor de las erupciones volcánicas, y estas emisiones gaseosas están controladas por la permeabilidad del suelo en las zonas superficiales y por la presencia de fracturas y otras discontinuidades en las zonas profundas

(Galindo, 2006). La emisión de gases se produce de forma visible a través de los penachos o plumas volcánicas, fumarolas y hervideros, o bien de forma no visible o difusa a través del suelo (Figura 7.1). Esta emisión no visible ocurre de manera difusa y dispersa a través de la cobertura mineral del suelo. El estudio y seguimiento de la emisión difusa de gases en sistemas volcánicos activos constituye una herramienta fundamental para el desarrollo de programas multidisciplinares de vigilancia volcánica, como así se ha observado en recientes crisis volcánicas (Hernández et al., 2001a, 2001b; Salazar et al., 2001; Pérez et al., 2006) y sísmicas (McGee et al., 2000; Salazar et al., 2002) en las que con anterioridad al fenómeno volcánico o sísmico se ha observado un cambio significativo en la emisión difusa de gases a la atmósfera.

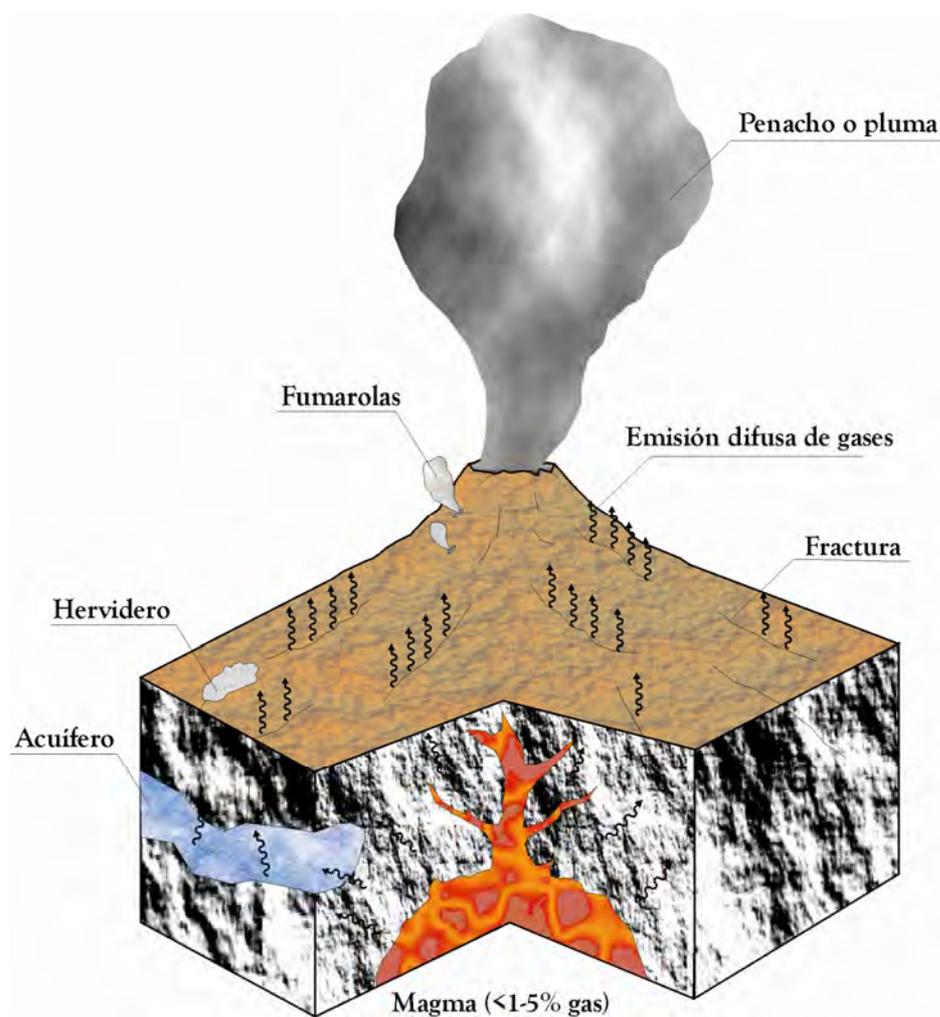


Figura 7.1.- Manifestaciones gaseosas que pueden tener lugar a través de los terrenos volcánicos.

Tenerife es la mayor de las siete islas que componen el Archipiélago Canario, es una isla volcánicamente activa que ha crecido sobre corteza oceánica en el océano atlántico, cerca del borde continental africano. Tiene 2034 km² de superficie y una forma triangular. La estructura volcano-tectónica de Tenerife está definida principalmente por las direcciones de los tres ejes volcano-estructurales de la isla, estos son las dorsales Noreste, Noroeste y Sur. En el punto de convergencia de estas dorsales se localiza el Complejo Volcánico Central formado por el Edificio Cañadas y el Complejo Teide-Pico Viejo (Figura 7.2). El área de estudio se ha centrado en el cono summital del volcán Teide (3718 m s.n.m.), donde ocurren las únicas manifestaciones visibles de actividad volcánica en la isla. (Figura 7.3).

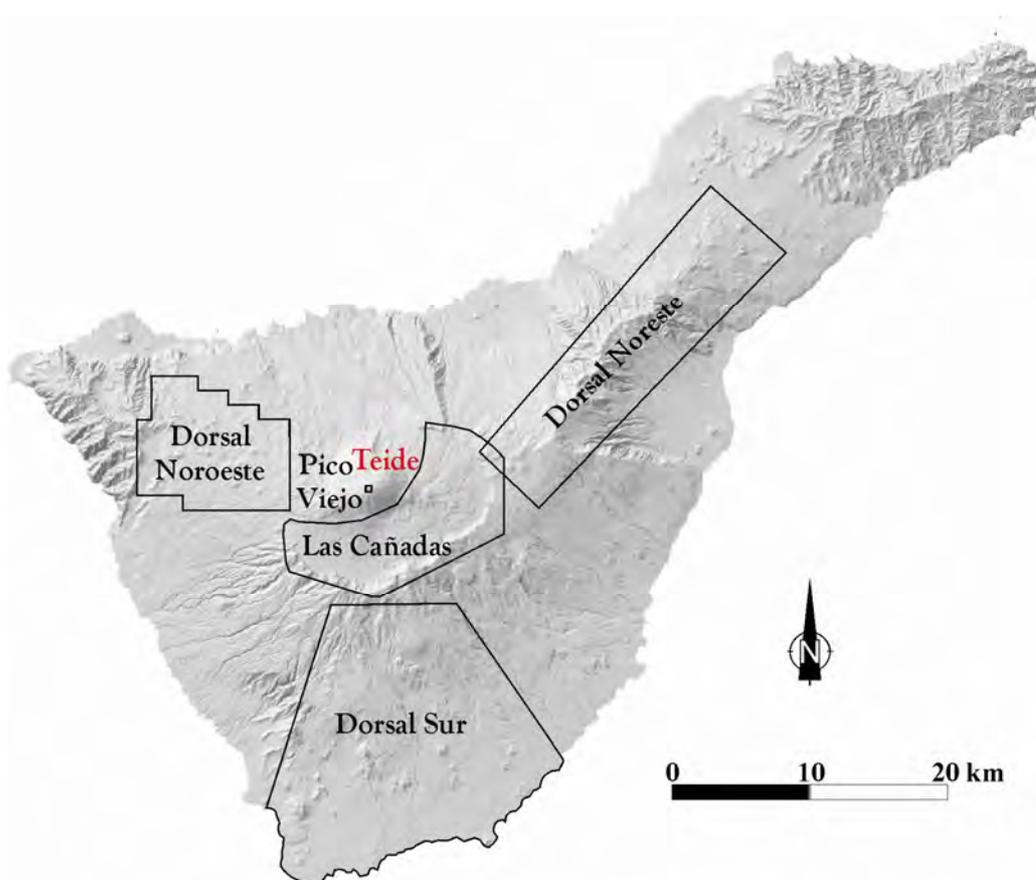


Figura 7.2.- Localización de las tres dorsales insulares (Dorsal Noreste, Dorsal Noroeste y Dorsal Sur), las Cañadas y en el centro de la isla el Complejo Teide-Pico Viejo.



Figura 7.3.- Visión panorámica del Complejo Teide-Pico Viejo y las Cañadas.

El estudio de la emisión difusa de gases en el cono summital del Teide sugiere que éste está conectado directamente con el sistema volcánico-hidrotermal de la isla asociado a una cámara magmática somera (Galindo, 2006). La composición de los gases emitidos de forma difusa procedentes de zonas profundas hacia la atmósfera depende principalmente de la cantidad de vapor de agua y otros gases que son liberados durante los procesos de fusión de las rocas que se producen en el manto y la corteza inferior (Martini, 1993). La exsolución de los volátiles disueltos en el magma se produce cuando disminuye la presión del sistema mediante la aparición de fracturas o debido al ascenso del magma hacia zonas de menor profundidad (Martini, 1993). Durante el ascenso de los gases formados en profundidad hacia la superficie a través de la corteza, se producen numerosos procesos que modifican su composición mediante la disolución, liberación y/o precipitación de distintas especies gaseosas (Figura 7.4). Uno de estos procesos es la interacción con los fluidos hidrotermales asociados al sistema volcánico (Symonds et al., 1996; Gerlach & Graeber, 1985; Gerlach & Tylor, 1990; Gerlach, 1990; Giggenbach 1987; Giggenbach, 1992).

En zonas con aguas geotermales (Giggenbach, 1980) y en los acuíferos (Chiodini et al., 1996, 1998) se producen y consumen gases. Además, los gases formados en profundidad pueden reaccionar con los minerales presentes en las rocas en profundidad mediante reacciones de oxidación-reducción (Matsuo, 1960) (Figura 7.4).

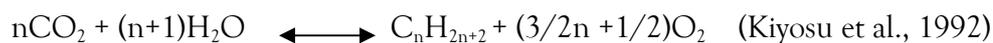


Figura 7.4. Procesos secundarios que pueden modificar la composición química de los gases magmáticos durante su ascenso hacia la superficie. Los gases magmáticos modificados que alcanzan la superficie se denominan gases volcánicos.

Las principales fuentes emisión de COVs no metanizados a la atmósfera tienen origen antropogénico. Sin embargo, tal y como se ha explicado en el Capítulo 1, existe una contribución a estas emisiones de COVs no metanizados debida a la actividad volcánica. Actualmente existen más de 300 volcanes subaéreos que están emitiendo continuamente grandes cantidades de substancias inorgánicas y orgánicas a la atmósfera terrestre (Graf et al., 1997; Andres & Kasgnoc, 1998; Halmer et al., 2002). Existen numerosos datos sobre los elementos mayoritarios que componen los gases volcánicos (Carroll & Holloway, 1994; Scarpa & Tilling, 1996) y sin embargo, el estudio de los componentes minoritarios presentes en los gases volcánicos (incluyendo a los hidrocarburos) ha sido estudiado en menor medida (Capaccioni et al., 1995, 2001, Taran & Giggenbach, 2003). Si hablamos de estudios sobre hidrocarburos halogenados en gases volcánicos, sólo podemos hacer referencia a muy pocos; Jordan et al. (2000, 2003), Schwander et al. (2004) y Frischer et al. (2006). El metano es el hidrocarburo más abundante en la Tierra (Schoell, 1980), y es por ello que la mayoría de estos estudios se han centrado principalmente en el origen y comportamiento de dicho hidrocarburo. Aunque es cierto que cada vez aparecen publicados más artículos que tratan sobre otros COVs diferentes al metano.

La producción de COVs no metanizados en ambientes volcánicos se debe a varias causas, siendo las principales; la actividad bacteriana (Hunt, 1984; Galimov, 1988; Hunt, 1996), la degradación de suelos o paleosuelos de dichos ambientes volcánicos (Hunt, 1984, 1996; Capaccioni et al., 2004) y/o la síntesis “de novo” de estos COVs no metanizados desde el manto. La formación de abiogénica de hidrocarburos es un cuarto mecanismo de formación potencial que tiene lugar durante el enfriamiento del magma o en sistemas hidrotermales. (Sherwood et al., 2002).

El origen de los hidrocarburos en ambientes volcánicos ha sido estudiado por diferentes autores (Welhan, 1988; Darling, 1998; Mango, 2001). La formación de compuestos orgánicos en la corteza terrestre puede describirse en la siguiente reacción genérica, como:



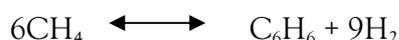
La formación de COVs no metanizados puede generarse por la actividad bacteriana (Hunt, 1984; Galimov, 1988), por la presencia de catalizadores químicos (Mango et al., 1994) y por degradación térmica de la materia orgánica y posteriores reacciones de oxidación e hidratación bajo condiciones hidrotermales (Seewald, 1994, 2001). Capaccioni et al. (2004), realizaron un estudio en el volcán de Chichón, Méjico, para evaluar el comportamiento de los hidrocarburos ligeros en sistemas volcánicos con gran actividad hidrotermal. Este estudio muestra como el gas volcánico contiene concentraciones relativamente altas de hidrocarburos ligeros, probablemente relacionados con la degradación del material orgánico subyacente (piedras sedimentarias del Terciario y Cretácico). Los estudios realizados por diferentes autores como Kiyosu et al. (1992), Capaccioni et al. (1993), Higashihara et al. (1997), sobre la composición de los hidrocarburos determinados en volcanes activos, en campos geotérmicos y en áreas de volcanismo pasivo, nos indican como la composición de los mismos es diferente en cada área de estudio. Estas diferentes características químicas de las especies de gas orgánico estudiado pueden ser consideradas una herramienta útil para la evaluación de las condiciones del físico-químico que actúan en los fluidos de las emisiones naturales (Tassi et al., 2005).

Girelli (1969), teniendo en cuenta la energía libre de formación para varios hidrocarburos, indicó que el metano y el benceno son los hidrocarburos más estables bajo las condiciones hidrotermales. La producción de benceno en sistemas volcánicos es similar a la que ocurre en los procesos industriales dentro de las refinerías donde existe ciclohexano y gases sulfurosos Capaccioni et al. (1993, 1995). En las refinerías, el benceno se obtiene debido a la ciclación y deshidrogenación de n-alcanos a 700–800 K en presencia de catalizadores sólidos (como los aluminosilicatos, etc.) (Girelli, 1969; Stocchi, 1991), en gases magmáticos este catalizador serían los gases de azufre, que actúan como agentes deshidrogenadores (Capaccioni et al., 2004). Esta compleja reacción conlleva transformaciones estructurales de la molécula de hidrocarburo sin variaciones

significantes del peso molecular (Capaccioni et al., 2004). La reacción reversible sería la siguiente:



Existen otros procesos alternativos en la producción de benceno en sistemas volcánicos como son la no-oxidación y oxidación aromatizada de metano, que puede expresarse termodinámicamente con las siguientes reacciones equivalentes (Capaccioni et al., 2004):



Este proceso de producción de benceno a través del metano y los catalizadores que intervienen en esta reacción está bien explicado por Arutunov & Krylov (1998).

7.2 Toma de Muestras y Procedimientos Analíticos

7.2.1 Diseño experimental para estimar la emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide

Con la finalidad de evaluar la tasa de emisión difusa de COVs no metanizados por el cono sumital del Teide, en octubre de 2004 se realizó una campaña de 120 puntos de observación cubriendo un área de 0.5 km². Se ha seleccionado el cono sumital del Teide como la más representativa de emisión de gases endógenos ya que es la única zona del archipiélago Canario donde existen manifestaciones geotermales en superficie. En 60 de estos puntos de observación se tomaron muestras de gas para determinar de forma indirecta la emisión difusa de COVs no metanizados.

7.2.2 Medidas in-situ de la emisión de CO₂ a la atmósfera por Volcanes

Descrita en el apartado 3.2.2

7.2.3 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados

El procedimiento para la toma de muestras es el mismo que el realizado en las campañas realizadas en los vertederos de Arico y Lazareto descrita en los apartados 2.2.2 y 2.2.3

7.2.4 *Análisis del gas volcánico por microcromatografía de gases*

Descrita en el apartado 3.2.4

7.2.5 *Tratamiento Estadístico*

Descrita en el apartado 3.2.5

7.3 *Resultados y Discusión*

7.3.1 *Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por el volcán Teide*

Los COVs no metanizados identificados y cuantificados en la campaña realizada en el cono sumital del Teide han sido los siguientes: benceno, tolueno, 1,2- dibromometano, etilbenceno, m+p-xileno, estireno, o-xileno, 1-etil-2-metilbenceno, 1,3,5-trimetilbenceno, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,2-diclorobenceno, 1,3-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno, 1,2,4-triclorobenceno, 1,1,2,3,4,4-hexacloro-1,3-butadieno, 1,2-dicloroetano y 1,1-dicloroetano. No se identificaron CFCs en los COVs no metanizados. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.1, donde se incluye un resumen estadístico de los valores de emisión difusa de COVs no metanizados.

El tolueno con $262,2 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ es el BTEX que presentó los mayores valores de emisión difusa, seguido de los xilenos y del benceno en similar orden de magnitud, $27,7$ y $22,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. Los hidrocarburos aromáticos no halogenados y los BTEX son sin duda los COVs no metanizados de mayor emisión registrada en las muestras analizadas ($361,9$ y $329,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). En un orden de magnitud inferior encontramos a los radicales bencénicos con una emisión difusa promedio de $49,10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Por último comentar que los hidrocarburos halogenados son los que presentaron las menores tasas de emisión difusa a la atmósfera, unos $0,84 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

Tabla 7.1. Resumen estadístico de los datos de emisión difusa de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados, COVs totales y CO₂ a la atmósfera por el volcán Teide.

Compuestos	Max.	Mín.	Promedio	Desv Std
Benceno ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	1193,4	0	22,7	156,2
Tolueno ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	5868,8	0	262,4	949,7
Etilbenceno ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	290,68	0	17,01	50,08
Xilenos ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	964,21	0	27,74	126,54
BTEX ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	8317,10	0	329,66	1250,35
Radicales bencénicos ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	1265,32	0	49,10	181,35
Hidrocarburos aromáticos no halogenados ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	9291,74	0	361,97	1381,68
Hidrocarburos halogenados ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	25,77	0	0,84	4,52
COVs Totales ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	9291,74	0	362,81	1381,52
CO ₂ ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	175,85	0	24,97	34,93

En las figuras 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12, 7.13 y 7.14, se presentan los mapas de distribución espacial de la emisión difusa de COVs no metanizados y de CO₂ en el cono sumital del Teide. En los mapas de distribución espacial de los COVs no metanizados se observa como las principales anomalías de flujo difuso se detectan en el interior del cráter del Teide, principalmente en el área dominada por la actividad fumarólica, lo que sugiere un importante in-pu de COVs no metanizados a la atmósfera desde este sistema volcánico hidrotermal. Sería interesante en un análisis futuro estudiar las implicaciones geológicas y geoquímicas que tiene la emisión de COVs no metanizados desde el Teide. Únicamente en el mapa de distribución espacial de Hidrocarburos halogenados las principales anomalías no parecen localizarse en el interior del cráter del Teide sino en la cara sur del cono sumital del Teide,

donde existen pequeñas áreas fumarólicas y donde la División de Medioambiente del ITER tiene instalada una estación geoquímica para el monitoreo continuo de gases volcánicos.

En la Figura 7.5 se muestra la distribución espacial de benceno en el cono sumital del Teide. Las principales anomalías se localizan en el interior del cráter del Teide y en el área donde se encuentran las principales fumarolas. La mayor parte del área estudiada presenta valores de emisión difusa de benceno inferiores a $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En este estudio, de los sesenta puntos de observación sólo hemos detectado valores cuantificables de benceno en dos muestras, las cuales se corresponden con muestras tomadas en el interior del cráter del Teide concretamente en aquellas áreas con una importante actividad fumarólica. Encontramos una pequeña anomalía con valores de emisión difusa de benceno a la atmósfera superior a $90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, el otro punto anómalo importante presentan niveles de emisión difusa superiores a $190 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

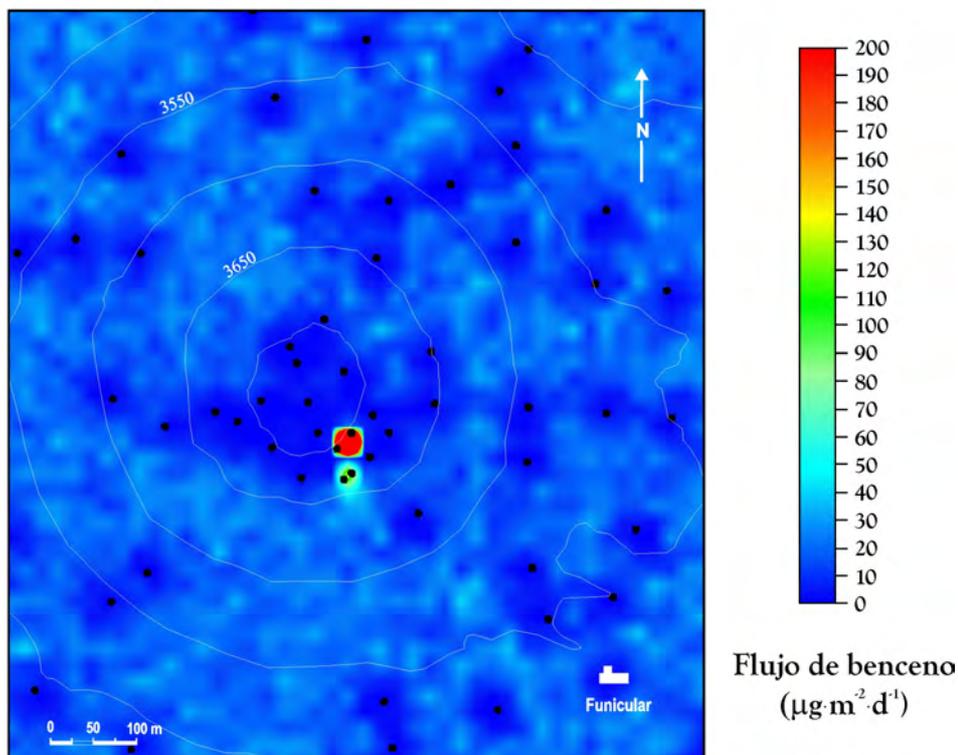


Figura 7.5.- Distribución espacial de la emisión difusa de benceno a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

En la Figura 7.6 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa de tolueno a la atmósfera por el cono sumital del Teide. De los sesenta puntos de observación hemos detectado y cuantificado valores de tolueno en el 93% de las muestras. La mayor parte del área de estudio presentó valores de emisión difusa inferiores a $800 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, estando las áreas de mayor emisión localizadas en el interior del cráter del Teide, en el área de actividad fumarólica. La emisión difusa estimada de tolueno a la atmósfera en dichas áreas es superior a los $2000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, destacando dos áreas anómalas en el interior del cráter.

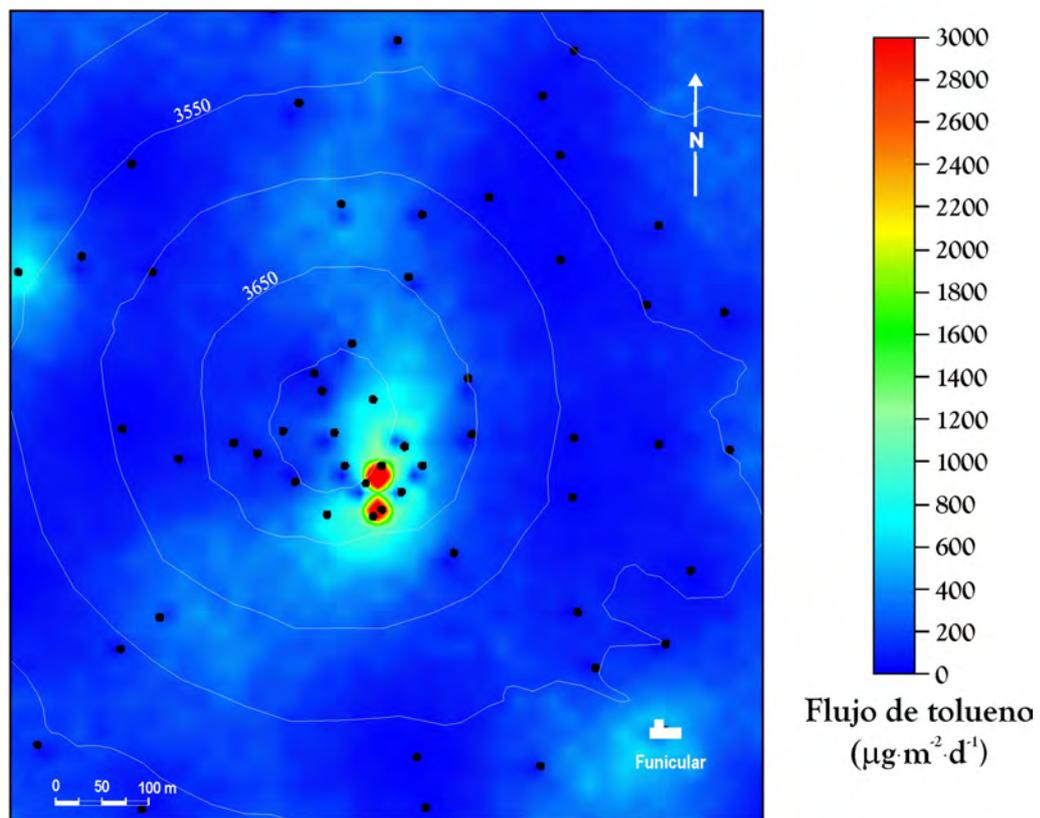


Figura 7.6.- Distribución espacial de la emisión difusa de tolueno a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

La distribución espacial de los valores de emisión a la atmósfera de etilbenceno se muestra en la Figura 7.7. Podemos observar como las principales anomalías de emisión difusa ocurren en el interior del cráter del Teide, con valores de emisión difusa de etilbenceno a la atmósfera superior a $110 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

Para el resto del área estudiada los valores de emisión difusa de etilbenceno se encuentran dentro de los valores de emisión de fondo, es decir, valores inferiores a $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. De todas las muestras tomadas en el cono sumital del Teide se identificó y cuantificó etilbenceno en el 78% de las mismas. Al igual que lo observado para el tolueno, se distinguen dos áreas anómalas importantes de emisión difusa de etilbenceno en las áreas fumarólicas localizadas en el interior del cráter del Teide.

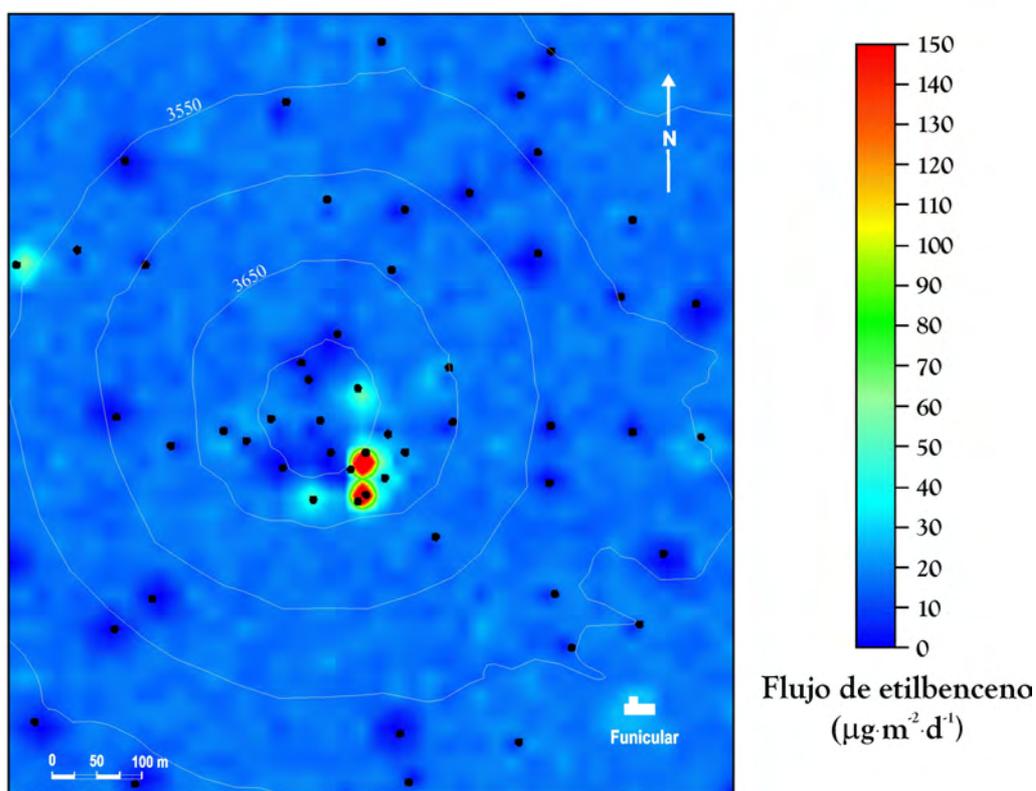


Figura 7.7.- Distribución espacial de la emisión difusa de etilbenceno a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

En la figura 7.8 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa de xileno a la atmósfera por el cono sumital del Teide. Del total de muestras cuantificadas e identificadas se determinaron valores de xileno en cuarenta y siete de las muestras tomadas. La mayor parte del área de estudio presentó valores de emisión difusa de etilbenceno inferiores a $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, encontrando

en las áreas de mayor actividad fumarólica la principal anomalía de etilbenceno con niveles de emisión difusa superiores a $350 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

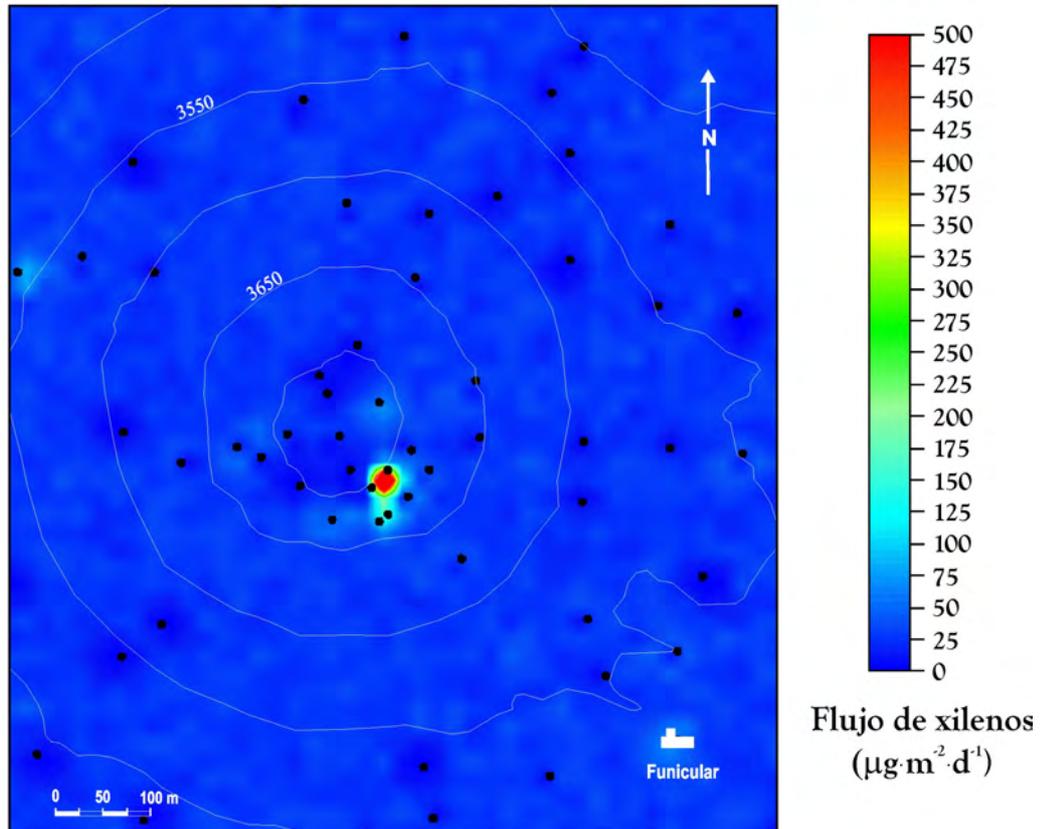


Figura 7.8.- Distribución espacial de la emisión difusa de xilenos a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

Aproximadamente el 92 % de las muestras tomadas en la campaña realizada en el cono sumital del Teide mostraron valores cuantificables de BTEX. El mapa de distribución espacial de BTEX no metanizados a la atmósfera queda expuesto en la Figura 7.9, en la que podemos observar como la mayor parte del área estudiada presentó valores de emisión difusa de BTEX inferiores a $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En el interior del cráter del Teide y al igual que para el resto de las especies de COVs no metanizados anteriormente estudiadas, es donde encontramos las principales anomalías de BTEX. Se observan dos áreas principales de emisión difusa situadas en las zonas ocupadas por las principales manifestaciones de emisión volcánica visible dentro del cráter del Teide. Estas

anomalías se caracterizan por presentar valores de emisión difusa a la atmósfera superior a $3000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

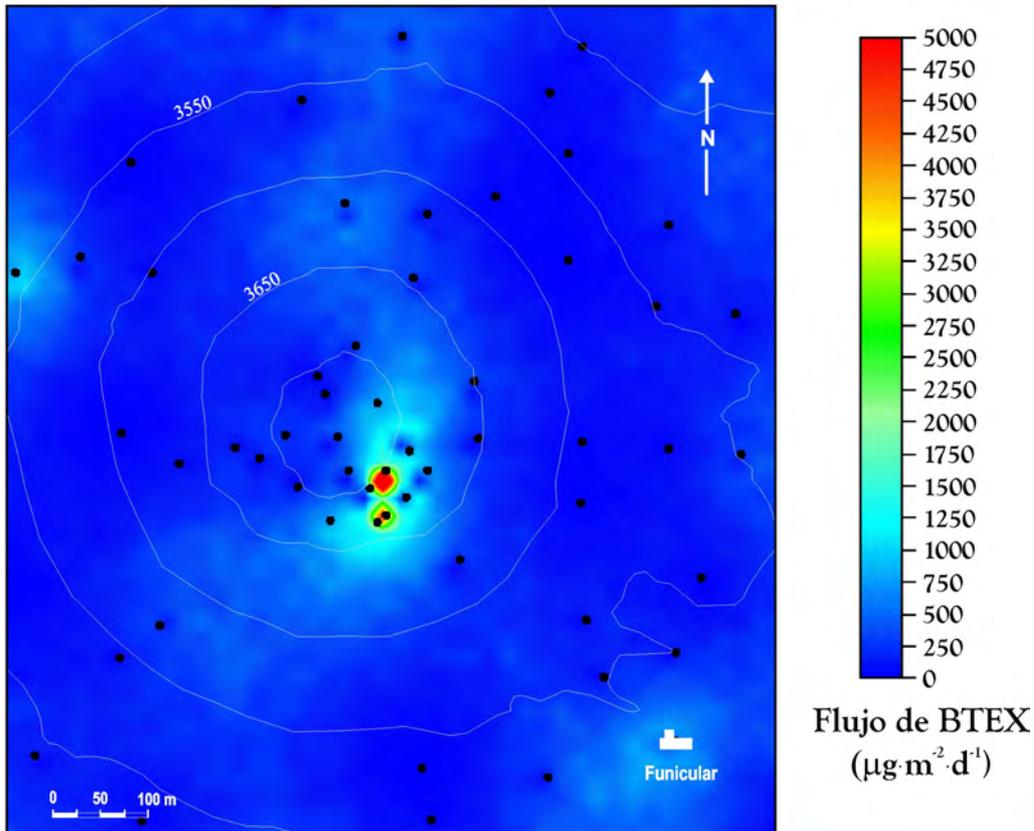


Figura 7.9.- Distribución espacial de la emisión difusa de BTEX a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

En la Figura 7.10 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa de radicales bencénicos a la atmósfera por el cono sumital del Teide. En este caso se cuantificaron radicales bencénicos en cuarenta y seis de las sesenta muestras de gases tomadas. Puede observarse como las principales anomalías están localizadas de nuevo en las áreas con una importante actividad fumarólica. Estas zonas presentan valores de emisión difusa superiores a $300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el resto del área de estudio se caracteriza por presentar valores de emisión de radicales bencénicos de fondo, es decir, valores inferiores a $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

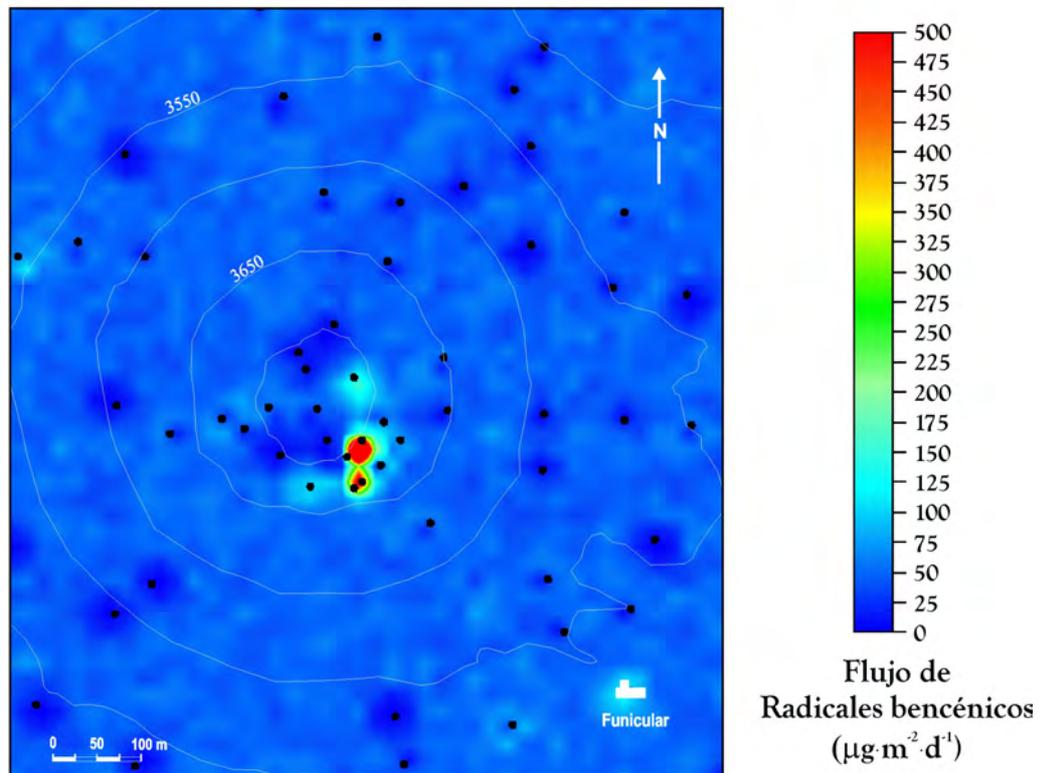


Figura 7.10.- Distribución espacial de la emisión difusa de radicales bencénicos a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

En la Figura 7.11 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el cono sumital del Teide. El patrón de distribución de las principales anomalías es similar al observado en los anteriores mapas de distribución espacial de los COVs no metanizados estudiados. Podemos ver como la mayor parte del área de estudio presenta valores de emisión difusa a la atmósfera de hidrocarburos aromáticos no halogenados inferiores a $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las zonas del interior del cráter con una intensa actividad fumarólica son las áreas donde localizamos nuevamente las principales anomalías con valores de emisión difusa superiores a $2250 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Del total de muestras analizadas en el cono sumital del Teide hemos determinado valores cuantificables de hidrocarburos aromáticos no halogenados en el 92% de ellas.

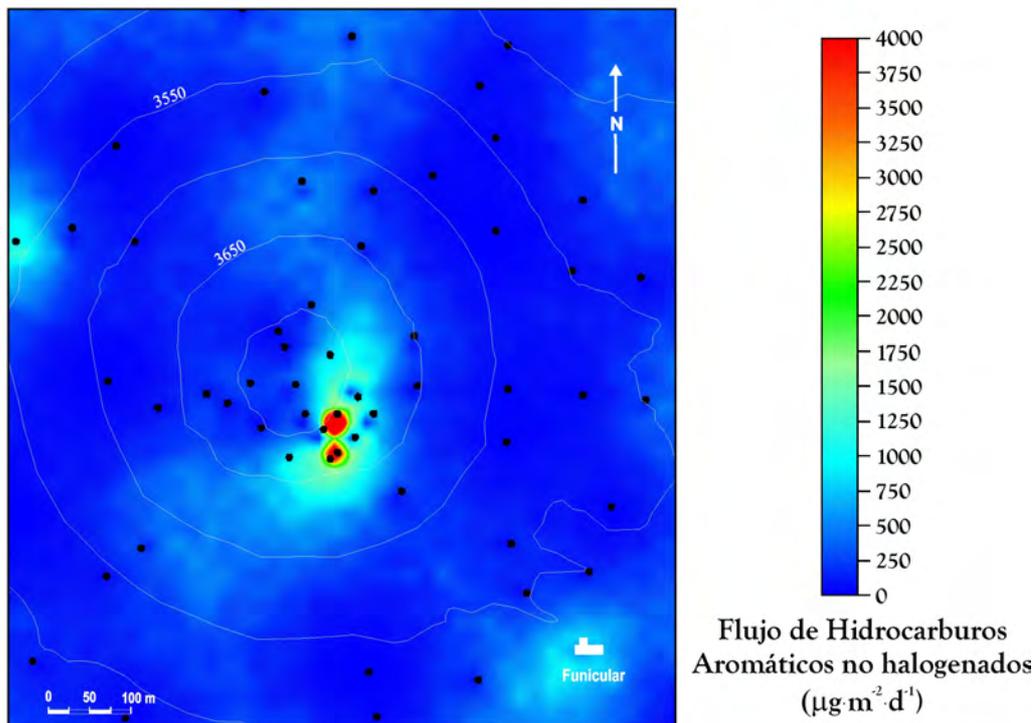


Figura 7.11.- Distribución espacial de la emisión difusa de hidrocarburos aromáticos no halogenados a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

En la Figura 7.12 se muestra la distribución espacial de hidrocarburos halogenados en el cono sumital del Teide. De las sesenta muestras tomadas durante esta campaña solamente hemos determinado valores cuantificables de hidrocarburos halogenados en el 3% de las muestras. En este caso y a diferencia de lo observado para el resto de COVs estudiados, las principales anomalías fueron medidas en el flanco sur del cono sumital del Teide, lugar caracterizado también por la existencia de manifestaciones gaseosas y térmicas en superficie. Las áreas anómalas de emisión de hidrocarburos halogenados presentan valores de emisión difusa superiores a $6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, mientras que el resto del área de estudio se caracteriza por presentar valores de emisión difusa a la atmósfera de hidrocarburos halogenados inferiores a $3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

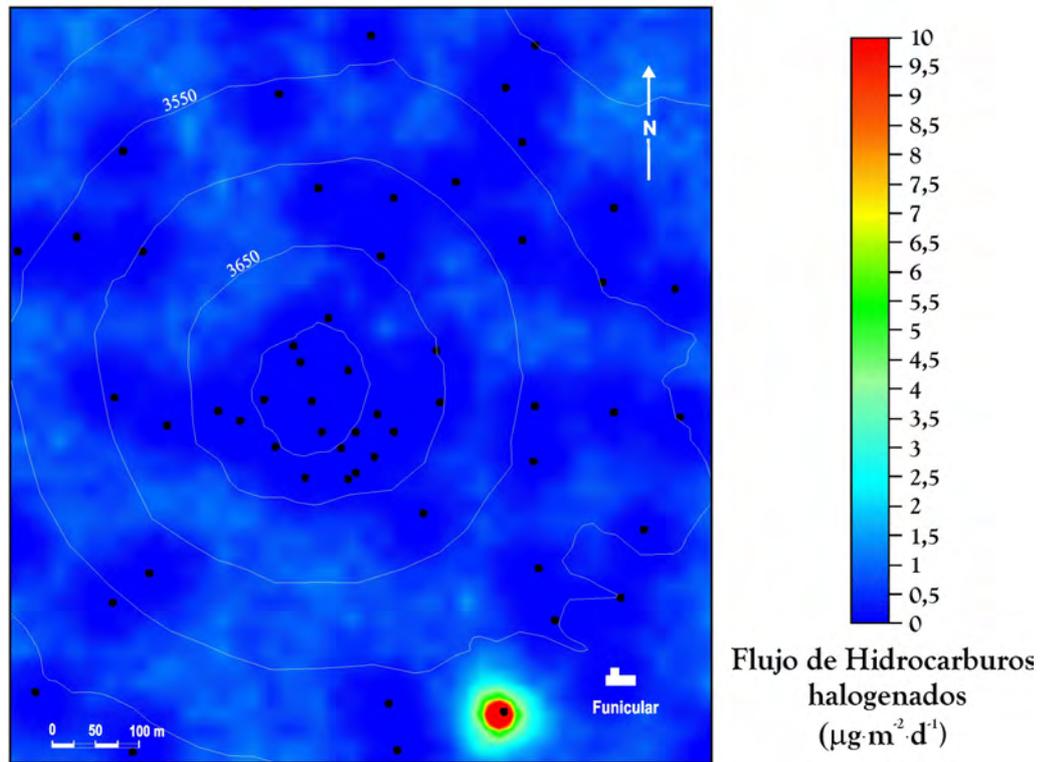


Figura 7.12.- Distribución espacial de la emisión difusa de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

Cuando representamos en conjunto la distribución espacial de todos los COVs no metanizados estudiados en este experimento, podemos observar que la zona de mayor actividad fumarólica localizada en el interior del cráter del Teide coincide con las principales áreas anómalas de emisión. Estas áreas de mayor emisión presentan valores superiores a los $3000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, presentando el resto del área estudiada valores de emisión difusa inferiores a $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. En esta campaña llevada a cabo en el cono sumital del volcán Teide se identificaron y cuantificaron COVs no metanizados en el 93% de las muestras realizadas.

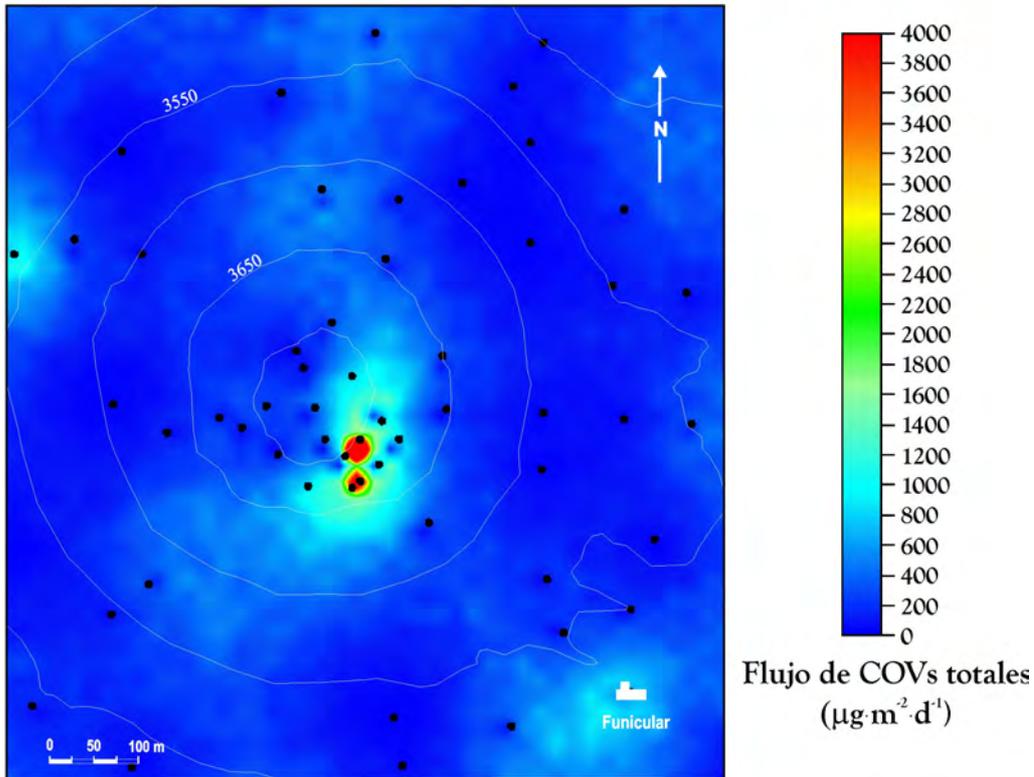


Figura 7.13.- Distribución espacial de la emisión difusa de COVs a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

En la Figura 7.14 se muestra la distribución espacial de la emisión difusa de CO_2 a la atmósfera por el cono sumital del Teide. Se determinaron valores de emisión difusa de CO_2 en el 98% de las muestras estudiadas. La mayor parte del área de estudio presentó valores de emisión difusa de CO_2 inferiores a $300 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$. Las zonas con anomalías importantes de CO_2 se localizaron en tres áreas principales; el flanco suroeste del cono sumital del Teide, al sur del cono sumital justo detrás de la estación del funicular y el interior del cráter del Teide donde se localiza la mayor actividad fumarólica. Estas zonas anómalas se caracterizan por presentar valores de emisión difusa de CO_2 superiores a $400 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$.

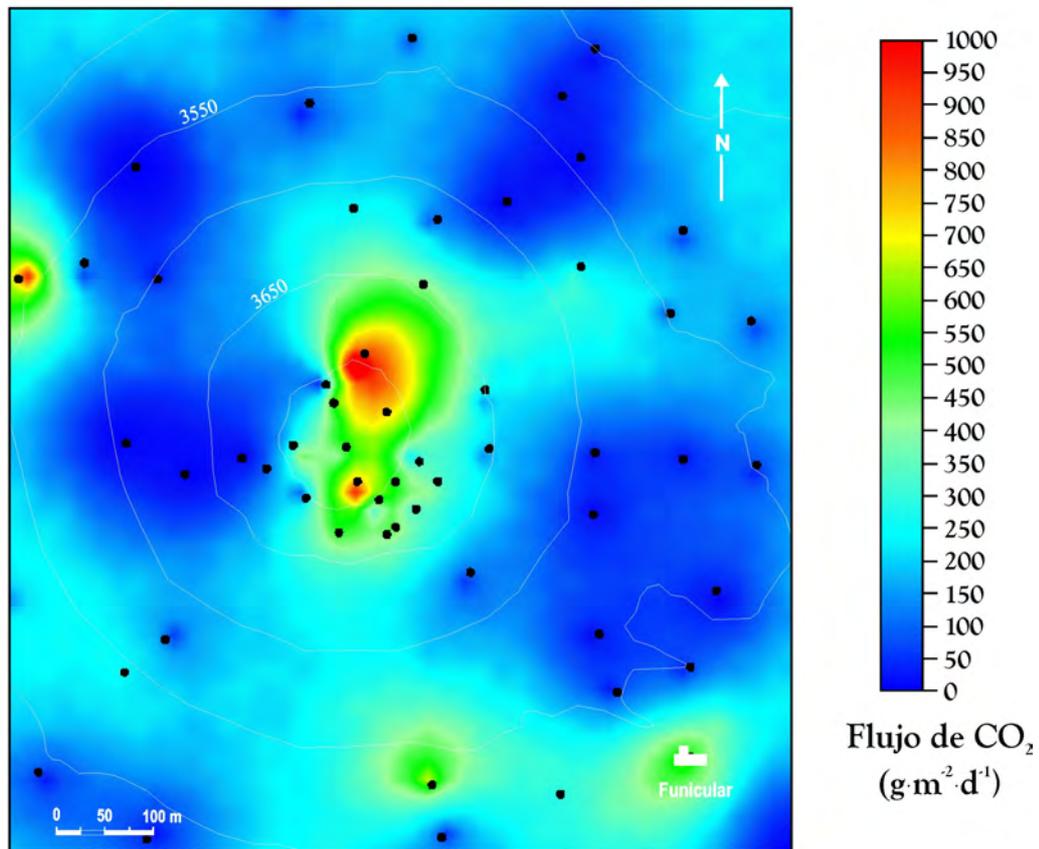


Figura 7.14.- Distribución espacial de la emisión difusa de CO₂ a la atmósfera por el volcán Teide en 2004.

Como resumen general comentar que en estos mapas de distribución espacial se observa como las principales anomalías de flujo difuso se detectan en el interior del cráter del Teide, principalmente en el área dominada por la actividad fumarólica lo que sugiere un importante in-put de COVs no metanizados a la atmósfera desde este sistema volcánico hidrotermal (Nolasco et al., 2004, 2006d, 2006e; Pérez et al., 2005a, 2005b).

Los resultados obtenidos para el volcán del Teide están expuestos en la Tabla 7.2. Estos datos reflejan que este sistema volcánico emite diariamente a la atmósfera 129,4 mg·d⁻¹ de COVs no metanizados, de los cuales 118,1 mg·d⁻¹ corresponden con compuestos BTEX, es decir el 91% de las emisiones de estos COVs no metanizados. El tolueno es el BTEX con mayor emisión diaria determinada (95,7 mg·d⁻¹), seguido de xilenos y benceno con similares valores de

emisión diaria 13,2 y 12,6 $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente. El etilbenceno es el BTEX de menor emisión detectada. Los hidrocarburos aromáticos no halogenados presentan tasas diaria de emisión dentro del mismo orden de magnitud que las registradas para los BTEX, unos 118,9 $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$. Los radicales bencénicos y los Hidrocarburos halogenados con tasas de emisión diaria a la atmósfera de 23,7 y 0,23 $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente, han sido determinados en menor proporción.

Tabla 7.2. Emisión difusa de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, COVs totales y CO_2 a la atmósfera por el volcán Teide.

Compuestos	Emisión
Benceno ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	12,58
Tolueno ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	95,67
Etilbenceno ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	8,33
Xilenos ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	13,19
BTEX ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	118,08
Radicales bencénicos ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	23,66
Hidrocarburos aromáticos no halogenados ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	118,92
Hidrocarburos halogenados ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	0,23
COVs Totales ($\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$)	129,36
CO_2 ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	119,92

7.3.2 Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados a la atmósfera por otros sistemas volcánicos

En la Tabla 7.3 se muestran los valores de concentración de benceno y tolueno correspondientes a estudios realizados por Capaccioni et al. (1993, 2004) en diferentes ambientes volcánicos. En dicha tabla aparecen también los resultados obtenidos en esta tesis doctoral y resultados obtenidos por la División de Medioambiente del ITER en otros sistemas volcánicos, como el volcán Cerro

Negro y el campo fumarólico de Solfatara (Nolasco et al., 2004, 2006d, 2006e; Pérez et al., 2005a, 2005b).

El volcán Cerro Negro está localizado en Nicaragua y es uno de los volcanes más activos de América caracterizándose por presentar un ciclo eruptivo de 5-8 años. Este volcán (726 m .s.n.m.) está localizado al NO del complejo volcánico El Hoyo-Las Pilas y al SE del Cerro de La Mula, siendo el mayor de un grupo de cuatro conos de cinder formados a lo largo de una dirección NNO-SSE. La campaña de emisión difusa de COVs no metanizados realizada en dicho volcán se realizó en marzo de 2005 con 169 medidas en un área de 0,6 km². En 76 de estos puntos de observación se tomaron muestras para determinar la emisión difusa de COVs no metanizados.

El campo fumarólico de Solfatara es un cráter elíptico de 770 m, y forma parte del complejo volcánico de los Campi Felgrei, Italia, presentando una importante actividad fumarólica con temperaturas de 160°C. Los datos aquí presentados corresponden a un estudio realizado en mayo de 2005 con 216 puntos de medida cubriendo un área de 0,14 km². Los mapas de distribución espacial de los COVs no metanizados obtenidos en las campañas realizadas en el volcán Cerro Negro y en Solfatara en el año 2005 pueden ser consultados en el Anexo III de esta Tesis doctoral.

En la Tabla 7.3 se muestra el área de estudio, la localización de la misma, el equipo utilizado para la determinación de los diferentes COVs no metanizados estudiados y los recipientes utilizados en la toma de muestra. Como se puede observar, el equipo utilizado para la identificación y cuantificación de dichos COVs no metanizados es el mismo, aunque la toma de muestra se realiza utilizando diferentes metodologías. En nuestro caso de estudio y como ya hemos comentado, utilizamos canister de acero inoxidable, mientras en los estudios realizados por Capaccioni et al. (1993, 2004) la toma de muestra se realizó utilizando contenedores de vidrio. Los mayores valores de concentración de benceno determinados por Capaccioni et al. (1993, 2004) fueron medidos tanto en las fumarolas localizadas en la Caldera de Uzon (11,390 ppbV) como en áreas

de geysir (4,290 ppbV) en la región de Kamchatka. Encontramos similares valores de concentración de benceno en las muestras procedentes de fumarolas de los campos Phlegrean en el cráter de Solfatara (2,889 ppbV), Pisciarelli (2,020 ppbV) y en las surgencias de agua caliente del volcán Chichón (2,332 ppbV). Los valores de concentración de benceno determinados en los estudios realizados en el volcán del Teide, Cerro Negro y cráter de Solfatara son inferiores a los determinados en los estudios realizados por Capaccioni et al. (1993, 2004). No podemos olvidar que en nuestro estudio tratamos de determinar la emisión difusa (no visible) de dichas áreas volcánicas mientras que la toma de muestras realizada por Capaccioni et al. (1993, 2004) han sido tomadas además de con una metodología diferente en áreas volcánicas de manifestación visible. En nuestro caso la toma muestras se realiza en todo el área del volcán.

Tabla 7.3. Valores de concentración de benceno y tolueno procedentes de diferentes ambientes volcánicos.

Área de estudio	Localización	Año de estudio	Equipo utilizado	Toma de muestras	Benceno ppbV	Tolueno ppbV
Volcán Chichón / Fumarolas Campo B ^a	Méjico	1998	GC/MS	Contenedores de vidrio	101-982	-
Volcán Chichón / Fumarolas Campo B ^a	Méjico	1999	GC/MS	Contenedores de vidrio	99-240	-
Volcán Chichón / Fumarolas Campo C ^a	Méjico	1998	GC/MS	Contenedores de vidrio	155-203	-
Volcán Chichón / Fumarolas Campo C ^a	Méjico	1999	GC/MS	Contenedores de vidrio	210	-
Volcán Chichón / Laguna craterica ^a	Méjico	1998	GC/MS	Contenedores de vidrio	757	-
Volcán Chichón / Laguna craterica ^a	Méjico	1999	GC/MS	Contenedores de vidrio	305	-
Volcán Chichón / Río rojo ^a	Méjico	1998	GC/MS	Contenedores de vidrio	546	-
Volcán Chichón / Surgencias H ₂ O caliente ^a	Méjico	1998	GC/MS	Contenedores de vidrio	302-319	-
Volcano beach / Burbujeo de gas ^b	Italia	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	2889	-
Volcano beach / Emisión Submarina ^b	Italia	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	763	-
Fumarolas Campos Phlegrean / Cráter Solfatara ^b	Italia	1992	GC/MS	Contenedores de vidrio	2020	-
Burbujeos de gas Campos Phlegrean / Pisciarell ^b	Italia	1992	GC/MS	Contenedores de vidrio	1032	-
Isla S. Miguel (Furnas) / Burbujeo de gas ^b	Azores Portugal	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	303	115
Isla S. Miguel (Esguicho) / Burbujeo de gas ^b	Azores Portugal	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	373	176
Isla S. Miguel (Ribeira grande) / Burbujeo de gas ^b	Azores Portugal	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	164	148
Isla S. Miguel (Caldera velha) / Burbujeo de gas ^b	Azores Portugal	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	248	17
Isla Graciosa (Caldera) / Fumarola ^b	Azores Portugal	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	156	114
Isla Terceira (Caldera) / Fumarola ^b	Azores Portugal	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	998	-
Volcán Chichón / Burbujeo de gas ^b	Méjico	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	2332	-
Volcán Chichón / Fumarolas ^b	Méjico	1991	GC/MS	Contenedores de vidrio	319	-
Kamchatka (Caldera Uzon) / Burbujeo de gas ^b	Rusia	1990	GC/MS	Contenedores de vidrio	11390	-
Kamchatka (Valle de Geyser) / Fumarola ^b	Rusia	1990	GC/MS	Contenedores de vidrio	4290	-
Caldera Latera ^b	Italia	1990	GC/MS	Contenedores de vidrio	42	-
Volcan Teide ^c	España	2004	GC/MS	Canisters	0,31	2,49
Volcán Cerro Negro ^d	Nicaragua		GC/MS	Canisters	0,44	26,46
Solfatara ^d	Italia		GC/MS	Canisters	9,30	27,94

^aCapaccioni et al., 2004; ^bCapaccioni et al., 1993; ^cNolasco 2008; ^dDivisión de Medioambiente (ITER)

Los valores de concentración de tolueno mostrados en la Tabla 7.3, reflejan como en Esguicho, isla de San Miguel, Azores, es donde encontramos los mayores valores de concentración de tolueno (176 ppbV), seguido del área de burbujeo de Ribeira Grande y Furnas con valores de concentración de tolueno de 148 y 115 ppbV, respectivamente. En la isla Graciosa encontramos valores de concentración de tolueno similares a los encontrados en Furnas en la isla de de San Miguel, estos valores han sido 114 ppbV y se han determinado en muestras de gas fumarólico en Caldera. Los valores de concentración de tolueno determinados en esta tesis doctoral están dentro del mismo orden de magnitud. Los valores de concentración de tolueno medidos en los volcanes Teide, Cerro Negro y Solfatara fueron 26,5, 26,5 y 27,9 ppbV, respectivamente. Estos valores de concentración son solamente superiores a los determinados en muestras tomadas en áreas de burbujeos en Caldera Velha en la isla de San Miguel (17 ppbV).

En la Tabla 7.4 se muestran los valores medios de concentración de ciertos hidrocarburos halogenados determinados en esta tesis doctoral en el volcán Teide, volcán Cerro Negro y Solfatara y los resultados obtenidos por Fischer et al. (2006), en tres fumarolas distintas en el volcán Momotombo en Nicaragua. Los valores de concentración de hidrocarburos halogenados han sido dos órdenes de magnitud superiores en la fumarola 3 del volcán Momotombo con respecto a los resultados obtenidos en las fumarolas 1 y 2. En este estudio de Fischer et al. (2006), la toma de muestras se realizó mediante la utilización de botes de vidrio de 125 ml de capacidad. Para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio se le añadía a la muestra de gas volcánico una mezcla de gas purificado de 75% de N₂ y 25% de O₂. El análisis y cuantificación de las muestras se realizó mediante un cromatógrafo de gases MS/MS. En el estudio realizado en el volcán Teide no se han determinado ninguno de estos hidrocarburos halogenados. En el caso del volcán Cerro Negro el hidrocarburo halogenado identificado y cuantificado fue el tetracloruro de carbono, mientras que para el volcán Solfatara fue el bromoetano, con valores de concentración de 0,06 y 0,26 ppbV, respectivamente. Los valores de concentración de tetracloruro

de carbono son superiores en las muestras tomadas directamente de la emanación visible de las fumarolas del volcán Momotombo con respecto a los valores de concentración registrados en la campaña de desgasificación difusa (no visible) del volcán Cerro Negro. En el caso de estudio del volcán Solfatara los valores de concentración de bromoetano fueron similares a los obtenidos en las muestras tomadas en las fumarolas 1 y 2 del volcán Momotombo y varios ordenes de magnitud inferior a los registrados en la fumarola 3 del volcán Momotombo, la más activa de las tres estudiadas.

En la Tabla 7.5 se representan los valores de emisión a la atmósfera de hidrocarburos halogenados estimados por Fischer et al. (2006), en las tres fumarolas del volcán Momotombo, por parte de todos los volcanes de Nicaragua y una estimación global de la emisión de dichos hidrocarburos halogenados. En esta tesis doctoral se ha estimado la tasa de emisión de hidrocarburos halogenados a la atmósfera por el volcán del Teide, por el volcán cerro Negro y por Solfatara. Muchos hidrocarburos halogenados determinados y cuantificados en esta tesis no son objeto de estudio de Fischer et al. (2006), es por ello que nos es imposible hacer comparación alguna. Sólo se ha comparado aquellos presentes en ambos estudios. Estos son el tetracloruro de carbono para el caso de estudio del volcán Cerro Negro y el bromoetano para Solfatara. La tasas de emisión de tetracloruro de carbono estimadas para el volcán Cerro Negro están dentro del mismo orden de magnitud que las registradas para el volcán Momotombo por Fischer et al. (2006), en cambio la tasa de emisión a la atmósfera de bromoetano determinadas en Solfatara son ligeramente superiores a las registradas por Fischer et al. (2006), en el volcán Momotombo. En dicha tabla también se reflejan estimaciones de emisión a la atmósfera de hidrocarburos halogenados por parte de los volcanes nicaragüenses así como un cálculo muy interesante de la estimación global de la emisión a la atmósfera de dichos hidrocarburos halogenados. Sólo los volcanes nicaragüenses estarían emitiendo a la atmósfera $182422 \text{ gr}\cdot\text{a}^{-1}$ de dichos hidrocarburos halogenados, aportando el volcán Momotombo el 3% de dicha emisión.

Tabla 7.4. Valores de concentración promedios (ppbV) de hidrocarburos halogenados determinados en los sistemas volcánicos del Teide, Cerro Negro, Solfatarra y en estudios realizados por Fischer et al. (2006), en tres fumarolas del volcán Momotombo, Nicaragua.

Hidrocarburos Halogenados	Formula	Volcán Momotombo			Volcán Momotombo F3a	Volcán Teide ^a			Volcán Cerro Negro ^a		Volcán Solfatarra ^a
		F1a	F2a	F2a		F3a	F3a	F3a	F3a	F3a	
Clorometano	CH ₃ Cl	64	60	9000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Bromometano	CH ₃ Br	13	16	510	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Cloroetano	C ₂ H ₅ Cl	1,7 ^b	4,1	430	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Bromoetano	C ₂ H ₅ Br	0,35 ^{b,c}	0,59	35 ^c	nd	nd	nd	nd	50,81	nd	
Diclorometano	CH ₂ Cl ₂	0,50	0,86	22	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Triclorometano	CHCl ₃	0,24 ^b	0,37	20	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Tetra cloruro de carbono	CCl ₄	0,19	0,31	0,45 ^c	nd	nd	0,06	nd	nd	nd	
Cloroetano	C ₂ H ₃ Cl	0,41	0,82 ^c	5,1	nd	nd	nd	nd	nd	nd	

nd=no detectado, F1a=Fumarola 1a, F2a=Fumarola 2a, F3a=Fumarola 3a, ^b Fischer et al., 2006

Tabla 7.5. Valores de emisión a la atmósfera de hidrocarburos halogenados en $\text{g}\cdot\text{a}^{-1}$ determinados en los sistemas volcánicos del Teide, Cerro Negro, Solfatara y en estudios realizados por Fischer et al., 2006; en tres fumarolas del volcán Momotombo, Nicaragua.

Hidrocarburos Halogenados	Formula	Volcán	Volcanes	Global ^d	Volcán	Volcán	Volcán
		Momotombo F1+F2+F3	Nicaragua ^c		Teide	Cerro Negro	Solfatara
Clorometano	CH_3Cl	5000	170000	5600000	nd	nd	nd
Cloroetano	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	260	9000	300000	nd	nd	nd
Bromometano	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$	49	1700	55000	nd	nd	
Diclorometano	CH_2Cl_2	24	820	27000	nd	nd	nd
Triclorometano	CHCl_3	18	600	20000	nd	nd	nd
Tetracloruro de carbono	CCl_4	2.4	82	2700	nd		nd
Cloroetano	$\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$	6.6	220	7400	nd	nd	nd

nd=no detectado, ^b Fischer et al., 2006, ^cHalmer et al., 2002, F1a=Fumarola 1a, F2a=Fumarola 2a, F3a=Fumarola 3^a

La estimación global de Hidrocarburos halogenados a la atmósfera según Fischer et al. (2006), sería de 6012,1 Kg·a⁻¹. En esta tesis doctoral como ya hemos comentado hemos realizado campañas para la estimación de la emisión de COVs no metanizados por diferentes ambientes volcánicos. En la Tabla 7.6 podemos observar los valores de emisión de COVs no metanizados en g·d⁻¹ determinados en el volcán Teide, volcán Cerro Negro y Solfatara. También hemos querido reflejar los valores de emisión de CO₂ en dichos ambientes volcánicos, los valores de emisión de este último expresado en t·d⁻¹ (Nolasco et al., 2004, 2006d, 2006e; Pérez et al., 2005a, 2005b).

Como podemos observar los mayores valores de emisión difusa de COVs no metanizados han sido registrados en el campo fumarólico de Solfatara donde los valores de COVs no metanizados totales alcanzan valores de emisión a la atmósfera de 5142,75 g·d⁻¹, un orden de magnitud superiores a los valores de emisión difusa de COVs no metanizados totales registrados en el volcán Cerro Negro (535,10 g·d⁻¹) y dos ordenes de magnitud superior a los registrados en el volcán Teide (0,13 g·d⁻¹) (Nolasco et al. 2006d, 2006c). Estos valores se repiten para el resto de los COVs no metanizados estudiados, es decir, benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados e hidrocarburos halogenados. Si analizamos detalladamente los datos de emisión de estos COVs no metanizados en estos diferentes ambientes volcánicos podemos observar como los BTEX comprenden el 92%, 94% y 93% de la emisión total de COVs no metanizados para el Teide, Cerro Negro y Solfatara, respectivamente (Nolasco et al., 2004, 2006d, 2006e; Pérez et al., 2005a, 2005b). En el caso de los hidrocarburos halogenados que son los COVs no metanizados que encontramos en menor concentración en nuestras muestras, los resultados reflejan que la emisión es del 0,2%, 0,3% y 0,2% de la emisión total de COVs no metanizados para el Teide Cerro Negro y Solfatara, respectivamente (Nolasco et al., 2004, 2006d, 2006e; Pérez et al., 2005a, 2005b).

Tabla 7.6. Valores de emisión de COVs no metanizados en $g \cdot d^{-1}$ y valores de emisión de CO_2 en $t \cdot d^{-1}$ determinados en los sistemas volcánicos Teide, Cerro Negro y Solfatara.

Compuestos	Teide 04	Cerro Negro 05	Solfatara 05
Benceno ($g \cdot d^{-1}$)	0,01	0,77	849,01
Tolueno ($g \cdot d^{-1}$)	0,10	482,45	3014,45
Etilbenceno ($g \cdot d^{-1}$)	0,01	13,05	173,16
Xilenos ($g \cdot d^{-1}$)	0,01	9,31	215,24
BTEX ($g \cdot d^{-1}$)	0,12	508,27	4822,06
Radicales Bencénicos ($g \cdot d^{-1}$)	0,02	18,70	1176,50
Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados ($g \cdot d^{-1}$)	0,12	418,24	5129,41
Hidrocarburos Halogenados ($g \cdot d^{-1}$)	0,0002	1,72	9,53
COVs Totales ($g \cdot d^{-1}$)	0,13	535,10	5142,75
CO_2 ($t \cdot d^{-1}$)	120	66,7	117,43

En la Tabla 7.7 se puede observar la emisión de COVs no metanizados a la atmosfera en $Kg \cdot a^{-1}$ en función del área de estos tres sistemas volcánicos. Los resultados son similares a los observados anteriormente, el campo fumarólico de Solfatara es el que presenta una mayor emisión de COVs no metanizados a la atmosfera por km^2 , seguido de la emisión del volcán Cerro Negro. EL volcán del Teide es el que presenta una menor emisión de COV no metanizados a la atmosfera.

Tabla 7.7. Valores de emisión de COVs no metanizados en Kg•Km²•a⁻¹ determinados en los sistemas volcánicos Teide, Cerro Negro y Solfatara.

Compuestos	Teide 04	Cerro Negro 05	Solfatara 05
Benceno	7	468	2213490
Tolueno	73	293490	7859102
Etilbenceno	7	7939	451453
Xilenos	7	5664	561161
BTEX	88	309198	12571799
Radicales Bencénicos	15	11376	3067304
Hidrocarburos Aromáticos no Halogenados	88	254429	13373105
Hidrocarburos Halogenados	0	1046	24846
COVs Totales	95	325519	13407884

La menor emisión a la atmósfera de COVs no metanizados por el Teide puede explicarse en base a su menor actividad respecto a Cerro Negro y Solfatara. Estos resultados indican que las emisiones de COVs no metanizados procedentes de la actividad volcánica están estrechamente ligadas a la intensidad del fenómeno de desgasificación y por ende al sistema volcánico-hidrotermal. De los tres sistemas volcánicos incluidos en este estudio, Solfatara es el que presenta una mayor actividad fumarólica, y el que presenta los mayores valores de emisión a la atmósfera de COVs no metanizados, seguida del volcán Cerro Negro y el Teide.

7.4 Conclusiones

- 1) El sistema volcánico del Teide emite diariamente a la atmósfera 129,4 mg•d⁻¹ de COVs no metanizados, de los cuales 118,1 mg•d⁻¹ corresponden a compuestos BTEX, es decir, el 92% de las emisiones de estos COVs no metanizados.

- 2) En los mapas de distribución espacial de COVs no metanizados se observa como las principales anomalías de flujo difuso se detectan en el interior del cráter del Teide, principalmente en el área dominada por la actividad fumarólica, lo que sugiere un importante input de COVs no metanizados a la atmósfera procedentes del sistema volcánico hidrotermal.
- 3) Únicamente en el mapa de distribución espacial de hidrocarburos halogenados las principales anomalías no parecen localizarse en el interior del cráter del Teide sino en la cara sur del cono sumital del Teide, donde aparecen asociados a pequeñas áreas fumarólicas.
- 4) Los valores de concentración de COVs no metanizados determinados en el volcán del Teide son muy inferiores a los determinados en otros sistemas volcánicos como Solfatara en Italia y Cerro Negro en Nicaragua.
- 5) De los tres volcanes estudiados el volcán Teide presenta la menor tasa de emisión de COVs no metanizados, seguido del volcán Cerro Negro, siendo el campo fumarólico de Solfatara, el que presenta una mayor actividad fumarólica, y en consecuencia los mayores niveles de emisión a la atmósfera de COVs no metanizados.

Niveles de inmisión de Compuestos Orgánicos Volátiles no metanizados en la baja troposfera de la Isla de Tenerife



8.1 Introducción

8.2 Toma de muestras y procedimientos analíticos

8.2.1 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados por GC/MS/MS

8.2.2 Diseño experimental y Cuantificación de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de isla de Tenerife

8.3 Resultados y Discusión

8.3.1 Niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera

8.3.2 Niveles de inmisión de COVs no metanizados a escala urbana o regional

8.3.3 Niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife

8.3.4 Distribución vertical de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife

8.4 Conclusiones

8.1 Introducción

El aumento desmesurado de la población del planeta unido al rápido crecimiento económico han contribuido al deterioro paulatino de la calidad del aire debido a la continua emisión de compuestos contaminantes a la atmósfera como resultado de este frenético desarrollo (Srivastava, 2004, 2005). Esta polución urbana es un problema constatado en las grandes ciudades, además los COVs no metanizados unidos a los NO_x son precursores del O₃ troposférico y juegan un papel decisivo en las reacciones fotoquímicas que tienen lugar en la atmósfera de estas áreas urbanas (Barletta et al., 2002). El empeoramiento de la calidad del aire y los efectos nocivos que dichos contaminantes causan a la salud de las personas son cada vez causa de mayor preocupación (Atkinson, 2000; Barletta et al., 2002; Srivastava, 2004). El estudio de los COVs no metanizados es de especial relevancia debido a que dichos contaminantes juegan un importante papel en muchos de los problemas ambientales actuales (Parra et al., 2006). Entre los problemas ambientales más acuciantes podemos citar; (1) *El agotamiento del ozono estratosférico*, debido a que numerosos COVs no metanizados presentan gran estabilidad química y son capaces de alcanzar la estratosfera. Si además estos COVs no metanizados contienen cloro o bromo en su estructura, los procesos de fotólisis estratosférica y la destrucción a cargo del radical hidroxilo pueden conducir a la liberación de compuestos desencadenantes de la destrucción del ozono estratosférico (Derwent, 1995); (2) *Efectos tóxicos o carcinogénicos para la salud humana*, especial interés tienen aquellos que presentan efectos carcinogénicos como el benceno y el 1,3-butadieno (WHO, 2000), que son agentes inductores de leucemia, o los hidrocarburos policíclicos aromáticos, que están clasificados como conocidos carcinógenos y mutagénicos (Ho & Lee, 2002); (3) *Formación fotoquímica de ozono troposférico*, los COVs reaccionan formando ozono (Atkinson, 2000), que tiene efectos nocivos en los cultivos pues ejerce un potente efecto fitotóxico (Sandermann et al., 1997; Krupa & Manning, 1988); (3) *Potenciación del efecto invernadero a nivel global*, algunos COVs no metanizados pueden modificar las distribuciones globales de otros gases con capacidad de absorber radiación infrarroja terrestre o solar y

pueden potenciar el efecto invernadero (Derwent, 1995); (5) *Acumulación y persistencia en el medio ambiente*, algunos COVs no metanizados, especialmente los de alto peso molecular superan los procesos de oxidación y se vuelven persistentes, siendo absorbidos sobre partículas y transportados a largas distancias (Guo et al., 2004). Debido a los motivos enunciados anteriormente, en este estudio hemos realizado la determinación de los niveles de inmisión de COVs en la baja troposfera de la Isla de Tenerife, evaluando sus variaciones temporales, espaciales y dilucidando el origen de estos contaminantes orgánicos. La mayor parte de los estudios sobre niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera se han desarrollado en ciudades (Fernández-Martínez et al., 2001; Ho & Lee, 2002; Mohamed et al., 2002; Pankow et al., 2003.), donde sus mayores concentraciones están principalmente relacionadas con el tráfico y las diversas actividades industriales que en ellas tienen lugar. En nuestro estudio hemos querido englobar además de las grandes ciudades, zonas industriales y rurales. Hemos estimado los niveles de inmisión de COVs no metanizados en una de las mayores ciudades de Canarias, Santa Cruz, capital de la isla de Tenerife, en un área típicamente industrial, el Polígono Industrial de Granadilla y en un área urbana, el valle de la Orotava, típica área residencial.

8.2 *Toma de Muestras y Procedimientos analíticos*

8.2.1 *Diseño experimental y Cuantificación de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife*

Desde febrero de 2003 hasta la actualidad se ha realizado regularmente el seguimiento y medida de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la Isla de Tenerife. Este programa de monitorización cuenta con tres puntos de observación localizados en (1) la zona urbana-industrial de Santa Cruz de Tenerife, (2) en las instalaciones del ITER en el Polígono Industrial de Granadilla, y (3) el valle de La Orotava (Figura 8.1). Además de este monitoreo diario se han realizado campañas de muestreo mensuales desde Marzo de 2004 hasta Marzo de 2006 a las 12 PM y a las 12 AM en quince

puntos de muestreo localizados alrededor de la Refinería de petróleo de Santa Cruz.

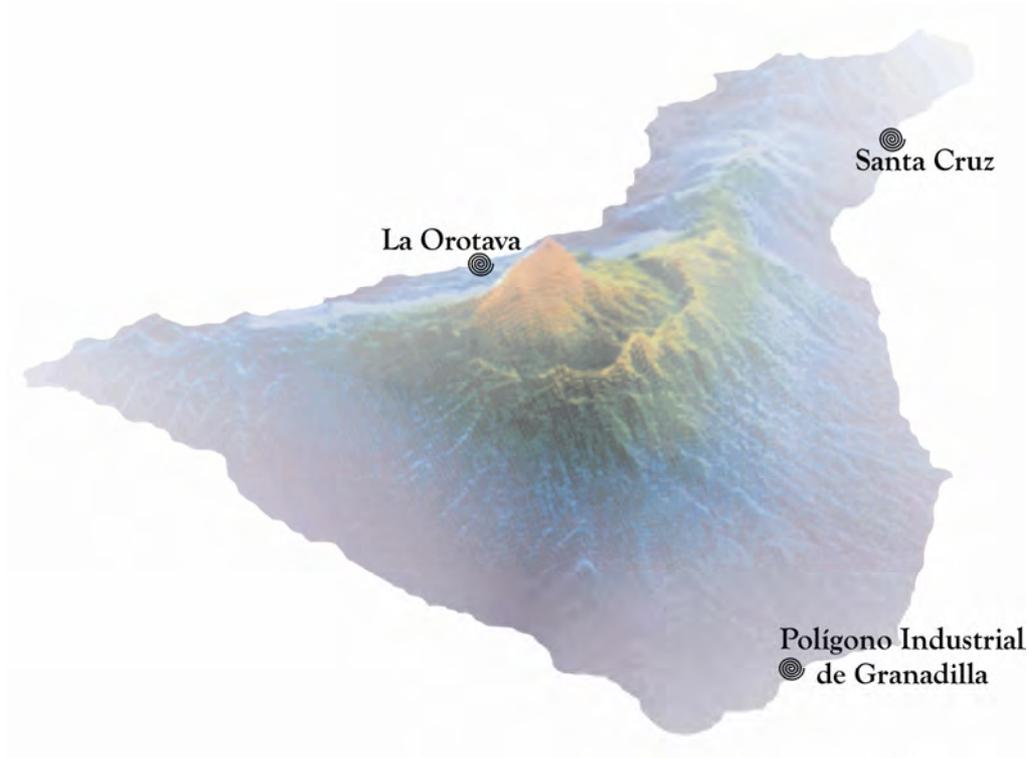


Figura 8.1.- Localización de los tres puntos de observación localizados en (1) la zona urbana-industrial de Santa Cruz de Tenerife, (2) el Polígono Industrial de Granadilla, y (3) el valle de La Orotava.

Estos quince puntos de observación ubicados en las inmediaciones de la principal industria de la capital de Tenerife están localizados en; (1) Los llanos junto a la Ermita de Nuestra señora de Regla, (2) Frente al Parque marítimo, (3) Junto al Espacio Cultural el Tanque, (4) Frente al Palmetum, (5) En la puerta principal de acceso a la Refinería de Petróleo de S/C, (6) Frente a la Piscina Municipal, (7) Junto al estadio Pancho Camurra, (8) En la calle Fuentes García, trasera de la Refinería de Petróleo, Barrio Buenos Aires, (9) Junto a la EDAR de Buenos Aires, (10) En el Barrio de Chamberí, (11) En el Polígono Industrial Costa Sur, (12) En el Barrio del Rosario, proximidades de la casa cuna, (13) Frente al cementerio Santa Lastenia, (14) Junto al centro de distribuciones Mercatenerife y por último (15) frente al Hospital Residencial Nuestra Señora de la Candelaria. En la Figura 8.2 se muestra uno de los mapas de distribución

espacial de COVs no metanizados en los alrededores de la Refinería de petróleo de Santa Cruz de Tenerife. En este mapa se pueden observar los niveles de inmisión de tolueno en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, determinados en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife a las 12 PM del 16 de junio de 2005.

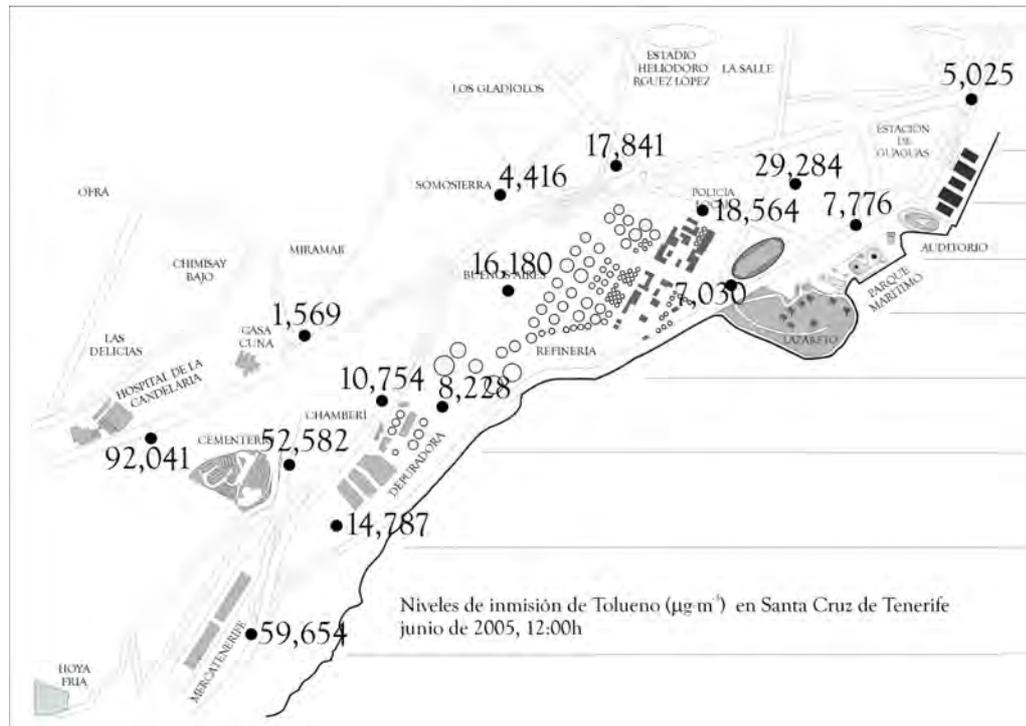


Figura 8.2.- Localización de los quince puntos de observación ubicados en las inmediaciones de la Refinería de petróleos de Santa Cruz con sus correspondientes niveles de inmisión de tolueno en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, determinados en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife a las 12 PM del 16 de junio de 2005.

Junto a este monitoreo diario y mensual se han realizado diversas campañas en la vertiente Norte, Sureste y Sur de la Isla de Tenerife con la finalidad de evaluar la distribución espacial los niveles de inmisión de COVs con respecto a la altura (Figura 8.3). Durante los meses de agosto y septiembre de 2003 se realizaron dos campañas en la vertiente Norte de la Isla de Tenerife con la finalidad de evaluar la distribución espacial los niveles de inmisión de COVs con respecto a la altura. En cada campaña se recogieron 28 muestras de la baja troposfera de la vertiente Norte de la isla a diferentes alturas entre las 8 AM y las 12 PM. Las primeras 24 muestras se recogieron cada 100 m, desde cota 0 hasta los 2300 m de altura. Las 4 muestras restantes se recogieron cada 300 m de

altura desde la base del Teide hasta el mismo cráter. En Marzo de 2004 se realizaron dos campañas simultaneas en la vertiente Norte y Sureste de la Isla de Tenerife, se tomaron un total de 21 muestras. Las 18 primeras muestras se recogieron cada 150 m, desde cota 0 hasta los 2300 m de altura. Las 4 muestras restantes se recogieron cada 300 m de altura desde la base del Teide hasta el mismo cráter. En Noviembre de 2005 se procedió a la realización de tres campañas simultaneas en la vertiente Norte, Sureste y Sur de la Isla de Tenerife. Se utilizó una metodología de toma de muestra similar a la usada en Marzo de 2004.



Figura 8.3.- Perfiles realizados en la vertiente Norte, Sureste y Sur de la isla de Tenerife para evaluar la distribución espacial los niveles de inmisión de COVs no metanizados con respecto a la altura.

Para ello se tomaron un total de 21 muestras, las 18 primeras muestras se recogieron cada 150 m, desde cota 0 hasta los 2.300 m de altura y las 4 muestras restantes se recogieron cada 300 m de altura desde la base del Teide hasta el mismo cráter. La hora de toma de muestras para todas estas campañas ha sido desde las 8 AM hasta las 12 PM como hemos comentado anteriormente. La

toma de muestras se realizó como hemos comentado con canisters de acero inoxidable de 400 cm³ de capacidad que previamente fueron evacuados al vacío. En todas estas campañas se han registrado datos de la temperatura ambiente en los diferentes puntos de toma de muestras mediante el uso de un termopar modelo OMEGA.

8.2.2 Toma de muestras y análisis de COVs no metanizados

Descrita en los apartados 2.2.2 y 2.2.3

8.3 Resultados y Discusión

8.3.1 Niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera

Conocer la composición de los COVs no metanizados en la baja troposfera es necesario para comprender algunos aspectos desconocidos de la química atmosférica y mejorar nuestra capacidad para predecir la formación de estos oxidantes fotoquímicos (Ciccioli et al., 1999). Solamente observando simultáneamente los precursores y los productos de las reacciones fotoquímicas en el aire, es posible detectar previamente fuentes de emisión desconocidas, evaluar los efectos de largo-alcance del transporte de dichos contaminantes, ó identificar y cuantificar los procesos de degradación y eliminación que ocurren en la baja troposfera (Ciccioli et al., 1999). La importancia de estudiar detalladamente la composición de COVs no metanizados en la baja troposfera fue evidente cuando varios programas emprendidos para reducir los niveles de ozono troposférico no lograron su objetivo, se tomaron muestras en diferentes ambiente, con fuentes de COVs diferentes y se observó que para cada caso de estudio se obtenían diferentes resultados (Chock & Heuss, 1987; Grennfelt et al., 1988). Fue en la mitad de la década de los ochenta cuando ya se extendieron las investigaciones de COVs no metanizados a COVs biogénicos porque estos últimos tienen la misma capacidad de generación de ozono que los COVs originados antropogénicamente (Chameides et al., 1988). Sin embargo, a comienzos de 1990 había disponibles pocos datos de COVs de origen biogénico y los pocos que existían pertenecían a muestras tomadas en bosques y áreas

rurales de EEUU (Singh & Zimmerman, 1992). Solamente y gracias a la mejora de las técnicas analíticas de colección de muestras, identificación y cuantificación de COVs experimentada en estas últimas décadas, ha sido posible identificar correctamente estos compuestos orgánicos en las muestras de aire (Ciccioli et al., 1992). Gracias al desarrollo de la cromatografía de gases MS/MS se han podido clasificar más de 300 COVs diferentes emitidos o formados en la atmósfera (Ciccioli et al., 1993a, 1993b, 1993c, 1994a, 1994b).

En la Tabla 8.1 se muestra la base de datos de aproximadamente 350 COVs identificados en la baja troposfera. Se ha subdividido dicha tabla en 16 tablas debido a su extensión. El resultado de esta base de datos proviene de más de 1.000 muestras colectadas por todo el mundo. Los datos han sido obtenidos en campañas realizadas en Europa central, sur y este de Europa, Himalaya, regiones Árticas (Islas Svalbard) y Antárticas (Bahía de Ross), ecosistemas forestales localizados en Italia, Francia y España, etc. En dicha tabla podemos observar los diferentes tipos de ambiente en que se ha clasificado el área de estudio (urbano, suburbano, forestal y remoto). Para diferenciar un ambiente de otro se ha hecho una diferenciación en función de la concentración total de COVs no metanizados determinados en este estudio. De esta manera, las áreas urbanas son las que presentan niveles de concentración de COVs entre 500 y 1500 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, las áreas suburbanas tienen niveles de concentración de COVs comprendidos entre 100 y 250 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, en áreas rurales y forestales los niveles de concentración que las caracterizan quedan comprendidos entre 30 y 200 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ y las áreas remotas presentan niveles de concentración de COVs entre 30 y 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. La frecuencia de observación (FO) y la relativa abundancia (RA) de COVs no metanizados son proveídas sólo por compuestos para los cuales la cuantificación es posible, para otros sólo se informa de su frecuencia de observación. La frecuencia de observación de COVs es clasificada con la siguiente denominación; H, alta frecuencia de observación, las muestras presentan un frecuencia entre el 70 y el 100% del total de muestras analizadas; M, frecuencia de observación media, las muestras presentan un frecuencia entre el 30 y el 70% del total de muestras analizadas; L, baja frecuencia, hasta el 30% del total de

muestras observadas; y O, muestras nunca observadas. La relativa abundancia (RA) de COVs no metanizados ha sido clasificada de la siguiente forma; A, abundante, cuantificado más del 5% del total de concentración; M, concentración moderada, cuantificado entre el 5% y 0.5% del total de concentración; T, trazas, cuantificado menos del 0,5% del total de concentración; O, inferior a los límites de detección; y (-), compuestos para los cuales no fue posible la cuantificación. Los compuestos identificados en la Tabla 8.1 son agrupados en 25 categorías. Los datos aportados por esta base de datos son cruciales para tener un mejor entendimiento de la reactividad de los COVs no metanizados en la atmósfera. Además estos datos muestran la alta complejidad existente de la fracción de alcanos y alquenos que disminuyen en número según nos alejamos de áreas urbanas (Ciccioli et al., 1999). Solamente un número limitado de estos compuestos pertenecientes a esta clase de COVs sobrevive en bosques o áreas remotas (Ciccioli et al., 1999). Este efecto es particularmente evidente para muchos compuestos reactivos como alquenos y cicloalquenos, dienos o hidrocarburos de anillo bencénico como el trimetilbenceno que con pocas excepciones son originados mayormente desde procesos antropogénicos como el tráfico de vehículos, estaciones de combustión o procesos de evaporación de disolventes (Singh & Zimmermaan, 1992; Ciccioli, 1993a; PORG Report, 1993; Derwent et al., 1996). El deterioro fotoquímico de los alquilobencenos puede explicar la presencia localizada de benzaldehídos en la baja troposfera y la presencia generalizada de este en áreas urbanas (Carlier et al., 1986). En bosques y áreas rurales la disminución de compuestos antropogénicos es contrarrestada por la complejidad de la fracción de monoterpenos (Ciccioli et al., 1999). Sin embargo, sólo unos pocos compuestos emitidos por la vegetación son suficientemente abundantes como para influenciar la composición del aire (Ciccioli et al., 1999). Algunos monoterpenos (α -pineno, β -pineno y D-limoneno) están también presentes en áreas urbanas y áreas remotas debido a procesos de evaporación desde productos utilizados en la limpieza del hogar (Knoeppel & Schauenburg, 1989) o al transporte a través de largas distancia desde áreas vegetadas (Ciccioli et al., 1999).

Tabla 8.1. Frecuencia de Observación (FO)^a y Abundancia Relativa (RA)^b de los COVs identificados por GC/MS en más de 1000 muestras tomadas en áreas Urbana, Suburbanas, Forestales y Remotas (Ciccioli et al., 1999).

1	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Alcanos								
Butano, 2-metil	H	A	H	A	M	M	O	O
n-C5	H	A	H	A	H	M	H	M
Butano, 2,2-dimetil	H	M	H	M	L	T	L	T
Butano, 2,3-dimetil	H	T	M	T	L	T	L	T
Pentano, 2-metil	H	M	H	M	M	M	H	M
Pentano, 3-metil	H	M	H	M	M	M	M	M
n-C6	H	M	H	M	H	M	H	M
Pentano, 2,4-dimetil	H	T	M	T	O	O	L	T
Butano, 2,2,3-trimetil	O	O	O	O	O	O	L	T
Pentano, 3,3-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Hexano, 2-metil	H	M	H	M	M	T	L	M
Hexano, 3-metil	H	M	M	T	L	T	M	M
Pentano, 3-etil	H	T	O	O	O	O	O	O
Pentano, 2,2,4-trimetil	H	M	H	M	M	M	L	M
n-C7	H	M	H	M	H	M	H	M
Hexano, 2,5-dimetil	H	T	M	T	L	T	O	O
Hexano, 2,4-dimetil	H	T	M	T	L	T	O	O
Pentano, 2,3,4-trimetil	H	T	M	T	L	T	O	O
Pentano, 2,3,3-trimetil	H	T	O	O	O	O	O	O

2	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Hexano, 2,3-dimetil	H	M	M	T	L	T	O	O
Heptano, 2-metil	H	M	H	T	M	T	O	O
Heptano, 4-metil	H	T	L	T	L	T	O	O
Heptano, 3-metil	H	T	L	T	L	T	O	O
n-C8	H	M	H	T	H	M	H	M
Heptano, 2,4-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Hexano, trimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Heptano, 2,5-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Heptano, 2,3-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Octano, 2-metil	H	T	O	O	L	T	O	O
Octano, 4-metil	H	T	O	O	L	T	O	O
Octano, 3-metil	H	T	O	O	L	T	O	O
n-C9	H	T	H	T	H	M	H	M
Octano, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Nonano, metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Isodecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isodecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Octano, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Nonano, metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Nonano, metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Nonano, 3-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
n-C10	H	T	H	T	H	T	H	M
Isoundecano	H	T	O	O	O	O	O	O

3	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Isoundecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Nonano, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoundecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Decano, metil	H	T	L	T	O	O	O	O
Isoundecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Decano, metil	H	T	L	T	O	O	O	O
Nonano, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoundecano	H	T	O	O	O	O	O	O
n-C11	H	T	H	T	M	T	H	M
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
Isododecano	H	T	O	O	O	O	O	O
n-C12	H	T	H	T	M	T	H	M
n-C13	H	T	M	T	M	T	M	M
Cicloalcanos								
CicloPentano	M	T	O	O	L	T	O	O
CicloPentano, metil	M	T	H	T	M	M	L	M
Ciclopropano, 1-metil, 3,3-dimetil	O	O	O	O	O	O	L	T
Ciclohexanol	H	T	M	T	M	M	L	A

4	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
CicloPentano, dimetil	M	T	O	O	O	O	L	T
<i>trans</i> -CicloPentano, 1,3-dimetil	M	T	O	O	O	O	L	T
<i>cis</i> -CicloPentano, 1,3-dimetil	M	T	O	O	O	O	L	T
CicloPentano, 1,2-dimetil	M	T	O	O	O	O	L	T
CicloHexano, metil	H	T	M	T	L	T	L	T
CicloPentano, etil	M	T	O	O	L	T	L	T
ButilCiclopropano	O	O	O	O	L	T	O	O
CicloHexano, etil	H	T	O	O	O	O	L	T
CicloHexano, trimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
CicloHexano, 1-etil, 4-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
CicloHexano, 1,2,3-trimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
ButilCicloPentano	H	T	O	O	O	O	O	O
Alquenos								
1-Penteno	H	T	H	T	L	T	L	T
1-Buteno, 2-metil	H	M	M	T	L	M	O	O
<i>trans</i> -2-Penteno	H	M	M	T	L	T	O	O
<i>cis</i> -2-Penteno	H	T	L	T	L	T	O	O
2-Buteno, 2-metil	H	M	M	T	L	T	O	O
1-Penteno, 3-metil	L	T	O	O	O	O	O	O
1-Hexeno	H	T	H	T	H	T	L	T
<i>trans</i> -2-Hexeno	H	T	L	T	O	O	O	O
<i>cis</i> -2-Hexeno	H	T	L	T	L	T	O	O
Buteno, 2,3-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O

5	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Pentano, 3-metileno	H	T	O	O	O	O	O	O
3-Hexeno	H	T	O	O	O	O	O	O
2-Penteno, 3-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Isohepteno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isohepteno	H	T	O	O	O	O	O	O
2-Hexeno, 4-metil	L	T	O	O	O	O	O	O
1-Hepteno	M	T	O	O	O	O	L	T
2-Penteno, 3-etil	H	T	O	O	O	O	O	O
3-Hepteno	M	T	O	O	O	O	O	O
3-Hexeno, 3-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
2-Hexeno, 2-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
2-Hepteno	H	T	O	O	O	O	O	O
1-Penteno, 2,2,4-trimetil	H	T	O	O	O	O	L	T
2-Hexeno, 3-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Isohepteno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoocteno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoocteno	H	T	O	O	O	O	O	O
4-Octeno	H	T	O	O	O	O	O	O
1-Octeno	H	T	L	T	L	T	L	T
Isoocteno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoocteno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoocteno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoocteno	M	T	O	O	O	O	O	O

6	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
3-Octeno	H	T	O	O	O	O	O	O
Isoocteno	H	T	O	O	O	O	O	O
2-Hepteno, 3-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Hepteno, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Isononano	H	T	O	O	O	O	O	O
4-nonano	H	T	O	O	O	O	O	O
1-nonano + 3-nonano	H	T	O	O	O	O	O	O
1-Octeno, 2-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
1-Octeno, 3-metil	M	T	O	O	O	O	O	O
Cicloalquenos								
Ciclopenteno	H	T	M	T	L	T	O	O
Ciclopenteno, 4-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclopenteno, 3-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclopenteno, 1-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclohexeno	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclopenteno, 4,4-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclopenteno, 1,5-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclohexeno, 4-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
CicloButano, isopropildieno	H	T	O	O	O	O	O	O
Ciclohexeno, metil	H	T	O	O	O	O	O	O
CicloPentano, 1,2-dimetil, 3-metileno	H	T	O	O	O	O	O	O
Dienos								
Isopreno	H	T	H	M	H	M	H	T

7	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
1,3-Pentadieno	H	T	O	O	O	O	O	O
2,4-Hexadieno	H	T	O	O	O	O	L	T
1,3-Pentadieno, 2-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
2,4-Hexadieno, 2-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
1,4-Heptadieno, 3-metil	O	O	O	O	O	O	L	T
Hexadieno, 2,3-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Dieno, iso-C8	H	T	O	O	O	O	O	O
Dieno, iso-C8	M	T	O	O	O	O	O	O
1,4-Pentadieno, 2,3,3-trimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
1,5-Hexadieno, 2,5-dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Dieno, iso-C8	H	T	O	O	O	O	O	O
Alquinos								
3-Etino, 5-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Hidrocarburos con anillo bencénico monocíclicos								
Benceno	H	A	H	A	H	M	H	M
Tolueno	H	A	H	A	H	M	H	A
Etilbenceno	H	M	H	M	H	T	H	M
(m + p)-Xileno	H	A	H	M	H	M	H	M
Estireno	H	T	M	T	L	T	L	T
o-Xileno	H	M	H	M	M	M	H	M
Isopropilbenceno	H	T	M	T	L	T	L	T
Allylbenceno	M	T	O	O	O	O	O	O
n-propilbenceno	H	M	H	T	M	T	L	T

8	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
benceno, 1-metil, 3-etil + benceno, 1-metil, 4-etil	H	M	H	T	M	T	L	T
benceno, 1,3,5-trimetil	H	M	M	T	M	T	L	T
benceno, 1-metil, 2-etil	H	M	H	T	M	T	L	T
benceno, tert-Butil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, 1,2,4-trimetil	H	M	H	T	L	T	L	T
benceno, isoButil	H	T	L	T	L	T	O	O
benceno, sec- Butil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, 1,2,3-trimetil	H	T	H	T	L	T	L	T
benceno, 1-metil, 3-isopropil	H	T	L	T	M	T	O	O
benceno, 1-metil, 4-isopropil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dietil + benceno, 1- metil, 2-isopropil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, metil, n-propil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, n-Butil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, metil, n-propil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dimetil, etil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, metil, n-propil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dimetil, etil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dimetil, etil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dimetil, etil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dimetil, etil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, dimetil, etil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, 1,2,4,5-tetrametil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, 1,2,3,5-tetrametil	H	T	L	T	O	O	O	O

9	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, 1,2,3,4-tetrametil	H	T	L	T	O	O	O	O
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, iso-C5	H	T	O	O	O	O	O	O
Hidrocarburos con anillo bencénico bicíclicos								
Indan	H	M	L	T	L	T	O	O
Indeno	H	T	M	T	L	T	O	O
Metil-lindan	H	T	O	O	O	O	O	O
Metil-lindan	H	T	O	O	O	O	O	O
Metil-lindan	H	T	O	O	O	O	O	O
Metil-lindan	H	T	O	O	O	O	O	O
Metil-lindan	H	T	O	O	O	O	O	O
Naftaleno	H	T	L	T	L	T	O	O
Naftaleno, 1-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Naftaleno, 2-metil	H	T	O	O	O	O	O	O
Monoterpenos								
Tricycleno	O	O	O	O	L	T	O	O
Thujeno	O	O	O	O	L	T	O	O

10	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Compuesto								
α -Pineno	M	T	H	T	H	A	L	T
Campeno	O	O	L	T	H	M	L	T
Sabineno	O	O	O	O	L	T	O	O
β -Pineno	M	T	L	T	H	M	O	
Myrceno	O	O	O	O	L	T	L	
α -Felandreno	O	O	O	O	L	T	L	
Δ -3-Careno	O	O	M	T	M	A	L	
α -Terpineno	O	O	O	O	L	T	O	
para-Cymeno	L	T	L	T	M	M	O	O
α -Felandreno	O	O	O	O	H	T	O	O
1,8 - Cineol	O	O	O	O	L	T	O	O
D-Limonano	M	M	M	T	H	M	L	T
cis- b - Ocimeno	O	O	O	O	L	T	O	O
trans- b - Ocimeno	O	O	O	O	L	T	O	O
γ -Terpineno	O	O	O	O	L	T	O	O
cis- Linaol oxido	O	O	O	O	L	T	O	O
trans- Linaol oxido	O	O	O	O	L	T	O	O
a - Terpinoleno	O	O	O	O	L	T	O	O
Linaol	O	O	O	O	L	T	O	O
Camphor	O	O	O	O	O	O	L	T
b - Caryofileno	O	O	O	O	L	T	O	O
Compuestos que contienen halogenos								
CFC 11	H	-	H	-	L	-	M	-

11	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Diclorometano	M	-	O	-	O	-	L	-
CFC 113	H	T	H	T	H	T	H	M
Cloroformo	H	T	H	T	H	T	M	T
1,1,1-Tricloroetano	H	M	H	T	H	M	H	M
Tetracloruro de carbono	H	T	H	T	H	T	H	M
Propano, 1,2-dicloro	H	T	H	T	H	T	L	T
Eteno, tricloro	H	M	H	T	H	T	L	T
Eteno, tetracloro	H	T	H	T	H	T	O	O
Eteno, tetracloro	H	M	H	T	H	T	L	T
benceno-cloro	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, (m+p)-dicloro	H	T	O	O	O	O	O	O
benceno, o-cloro	H	T	O	O	O	O	O	O
Compuestos que contienen azufre								
Carbon disulfuro	H	-	H	-	M	-	L	-
Metano isotiocianato	O	O	O	O	O	O	L	T
Alcoholes								
Metanol	H	-	H	-	H	-	H	-
Etanol	H	-	H	-	H	-	H	-
2-Propanol	H	T	H	T	H	T	H	T
2-Propanol, 2-metil	H	T	H	T	H	T	H	M
1-Propanol	H	T	H	T	H	T	H	T
3-Buten-2-ol, 2-metil	O	O	O	O	L	T	L	T
1-Propanol, 2-metil	H	T	H	T	H	T	M	T

12	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Compuesto								
1-Butanol	H	T	H	T	H	T	H	A
1-Butanol, 3-metil	L	T	O	O	M	T	L	T
1-Buten-1-ol, 3-metil	O	O	O	O	L	T	O	O
1-Pentanol	L	T	O	O	H	T	L	T
1-Hexanol	L	T	O	O	H	T	L	T
1-Buten-1-ol, 3-metil,acetato	O	O	O	O	L	T	O	O
2-Propanol, 1,3-dicloro	O	O	O	O	O	O	L	T
1-Heptanol	L	T	O	O	M	T	L	T
1-Hexanol, 2-etil	L	T	O	O	H	T	L	M
1-Octanol	L	T	O	O	M	T	L	M
1-Nonanol	L	T	O	O	M	T	L	M
1-Decanol	L	T	O	O	M	T	O	O
Alcoholes alcaloxidos								
2-Butoxi, etanol	H	T	H	T	H	T	L	M
Etanol, 2-(etoxi etoxi)	M	M	O	O	O	O	O	O
2-Propanol, 1-(2-metoxi, 1-metiletoxi)	L	T	O	O	O	O	O	O
2-Propanol, 1-[1-metil, 2-(propeniloxy)etoxi]	L	M	O	O	O	O	O	O
2-Propanol,1-(metoxi propoxi)	L	M	O	O	O	O	O	O
etanol, 2-fenoxi	L	T	O	O	O	O	O	O
Dioles								
2,4-Pentanodiol,2-metil	O	O	M	T	H	A	O	O
Aldehídos								
Propanal, 2-metil	O	O	L	T	M	T	M	T

13	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Butanal	H	T	H	M	H	T	H	M
Butanal, 3-metil	O	O	L	T	M	T	M	T
Pentanal	H	T	H	M	H	M	M	M
Pentanal, 2-metil	O	O	O	O	O	O	L	T
Hexanal	H	M	H	M	H	M	H	M
Heptanal	H	T	H	M	H	M	H	M
Octanal	H	M	H	M	H	M	H	M
Nonanal	H	M	H	A	H	M	H	M
Decanal	H	T	H	A	H	M	H	M
Undecanal	O	O	O	O	L	T	O	O
Aldehídos olefínicos								
2-Propenal	O	-	O	-	M	-	M	-
2-Propenal, 2-metil	H	T	H	T	H	T	M	M
2-Pentenal	O	O	O	O	O	O	L	T
2,4-Hexadienal	O	O	O	O	O	O	L	T
1-FormilCiclopenteno	O	O	O	O	O	O	L	T
Aldehídos ciclicos y aromáticos								
2-Furanoaldehído	L	T	O	O	O	O	L	T
Benzaldehído	H	M	H	M	H	M	H	M
2-Furanoaldehído, 5-metil	O	O	L	T	O	O	O	O
Benzaldehído, metil	H	T	M	T	M	T	O	O
Benzaldehído, metil	H	T	M	T	M	T	O	O
Benzaldehído, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O

14	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Benzaldehído, dimetil	H	T	O	O	O	O	O	O
Oxo-aldehídos								
4-Oxopentanal	O	O	O	O	L	M	L	M
Acetonas								
2-Propanona	H	-	H	-	H	-	M	-
2-Butanona	M	T	H	M	H	T	M	M
2-Butanona, 3-metil	O	O	O	O	O	O	L	T
2-Pentanona	O	O	O	O	H	T	L	T
2-Pentanona, 4-metil	O	O	O	O	O	O	L	T
2-Pentanona, 2-metil	O	O	O	O	O	O	L	T
2-Hexanona	O	O	O	O	O	O	L	T
Iso-C7-Cetonas	O	O	L	T	O	O	O	O
2-Pentanona, 4-hydroxy, 4-metil	O	O	O	O	L	T	O	O
2-Heptanona	O	O	O	O	O	O	L	T
Iso-C8-Cetonas	O	O	L	T	O	O	O	O
Acetonas cíclicas y olefinicas								
3-Buten, 2-ona	O	O	H	T	H	T	H	M
Ciclopentanona	H	T	H	T	L	T	O	O
5-Hexen, 2-ona, 5-metil, 3-metileno	O	O	O	O	O	O	L	M
2(5H)-Furanoona, 5,5-dimetil	O	O	O	O	O	O	L	T
5-Hepten, 2-ona, tetrahydro	H	M	H	A	H	A	H	M
3,5-Heptadien, 2-ona, 6-metil	H	T	H	T	H	T	L	T
5,9-Undecadien, 2-ona, 6,10-dimetil(geranyl acetona)	O	O	O	O	O	O	L	A

15	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Furanos								
Furanos	H	T	H	T	M	T	L	T
Furano, 2-metil	H	T	H	T	H	T	L	M
Furano, 3-metil	H	T	M	T	H	T	L	T
Furano, 2,5-dimetil	O	O	O	O	O	O	L	T
Furano, 2,3-dihydro, 5-metil	O	O	O	O	L	T	O	O
Acidos								
Acido Acetic	H	T	H	M	H	A	H	A
Acido Propanoico	H	T	H	T	H	T	M	T
Acido Butanoico	H	T	H	T	H	T	H	M
Acido Butanoico, 3-metil	H	T	H	T	H	T	M	T
Acido Pentanoico	H	T	H	T	H	T	M	T
Acido Hexanoico	H	T	H	T	H	T	H	M
Acido Heptanoico	H	T	H	T	H	T	H	M
Acido Octanoico	H	T	H	T	H	T	H	M
Acido Nonanoico Acido	H	T	H	T	H	T	H	M
Esteres								
Acido Formico, etilester	O	O	O	O	O	O	L	T
Acido Acetico, ethenylester	O	O	O	O	O	O	L	T
Acido Acetico, etilester	M	M	L	T	O	O	L	T
Acido Formico, Butilester	O	O	O	O	O	O	L	T
Acido Acetico, 2- ,etilpropilester	O	O	O	O	O	O	L	T
Acido Acetico, Butilester	M	M	L	T	L	T	L	T

16	Tipo de ambiente							
	Urbano		Suburbano		Forestal		Remoto	
Compuesto	FO	RA	FO	RA	FO	RA	FO	RA
Esteres								
Propano, 2-metoxi, 2-metil	H	M	H	M	H	T	O	O
Butano, 2-metoxi, 2-metil	H	T	M	T	M	T	O	O
benceno, 1-metoxi, 4-metil	O	O	O	O	O	O	L	T
Compuestos que contienen nitrógeno								
Benzonitrilo	H	T	O	O	O	O	O	O
Benzotiazole	H	T	M	T	M	T	O	O
Fenoles								
Fenol	H	T	H	T	H	T	L	T
<i>o</i> -Cresol	H	T	H	T	H	T	O	O
(<i>m</i> + <i>p</i>)-Cresol	H	T	H	T	H	T	O	O
Silanoles								
Trimetilsilanol	H	T	H	T	H	T	L	T

La presencia ubicuista de ciertos COVs biogénicos como los isoprenos en diferentes muestras confirma que existen otras fuentes activas de emisión de isopreno a la atmósfera distintas a la vegetación (Mc-Kay et al., 1996). Las fuentes marinas pueden jugar en este aspecto un papel crucial en la emisión de isoprenos en áreas libres de vegetación (Mc-Kay et al., 1996; Laurila & Hakola, 1996), la combustión de combustibles fósiles puede ser también una fuente significativa de isopreno en ambientes urbanos según otros autores como Zielinska et al., 1996.

La distribución de los alcoholes y metoxialcoholes sigue caminos más complicados, compuestos desde el metanol al butanol son muy ubicuistas en la atmósfera abundando más en áreas forestales y rurales que en áreas urbanas (Singh et al., 1995, Carlier et al., 1986; Calvert & Madronich, 1987). Fuentes antropogénicas pueden también ser responsables de la presencia si bien escasa de alcoholes en áreas urbanas y suburbanas donde la emisión de la vegetación contribuye a presentar estos niveles emisión (PORC Report, 1993; McDonald & Fall, 1993).

La degradación de hidrocarburos reactivos (Calvert & Mandronich, 1987), emisión de COVs desde fuentes biogénicas y la quema de biomasa (Bode et al., 1997) pueden explicar la extensa distribución de ácidos libres en la baja troposfera. Una consideración similar puede ser aplicada a la fracción de aldehídos desde el hexanal al undecanal, el hecho es que estos compuestos pueden encontrarse en grandes porciones de materia orgánica presente en el aire (Yokouchi et al., 1990; Ciccioli et al., 1993b, 1994a; Helmig et al., 1996).

En la Tabla 8.2 podemos ver en más detalle la reactividad atmosférica de los COVs no metanizados. En dicha tabla se representa el porcentaje de composición de COVs no metanizados presentados en la Tabla 8.1 y la cantidad total de estos COVs detectados mediante GC/MS en diferentes ambientes. Las principales fuentes antropogénicas contienen el 70% de los alcanos, alquenos e hidrocarburos aromáticos bencénicos identificados en la fracción orgánica de las muestras tomadas de la atmósfera (Ciccioli et al., 1999). En ambientes forestales y rurales la contribución de la fracción orgánica es de un 20% para alquenos e hidrocarburos aromáticos bencénicos (Ciccioli et al., 1999). Los alcanos en estos ambientes forestales y rurales desaparecen de la atmósfera y el benceno y el tolueno son de los hidrocarburos aromáticos con anillos bencénicos los mayoritariamente encontrados en estos ambientes, pues el etilbenceno es determinado en niveles trazas (Ciccioli et al., 1999). En estos ambientes decae la concentración de COVs de origen antropogénico pero esta se ve compensada por el drástico incremento en la concentración de ácidos libres, alcoholes y compuestos carbonilos que exceden más del 60% de la composición del total de materia orgánica detectada (Ciccioli et al., 1999). Los isoprenoides en estas áreas forestales y rurales nunca superan valores por encima del 18.5% de la composición total (Ciccioli et al., 1999).

Tabla 8.2. Porcentaje de la composición de las principales clases de COVs y concentración total en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de dichos COVs en diferentes ambientes (Ciccioli et al., 1999).

País	Ciudad	Tipo de Ambiente	Hidrocarburos					Ác. Libres	Cetonas	Ác. Libres	Monoterpenos	Isoprenos	Otros	Total ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
			Alquenos	Alcoholes	Aldehídos	Cetonas	Ác. Libres							
Italia	Milán	Urbano	29,7	4,5	43,7	6,7	4,0	0,7	3,4	0,5	0,1	6,7	490,8	
Italia	Roma	Urbano	34,9	6,4	32,9	3,1	9,0	2,4	8,8	0,7	0,2	1,5	583,5	
Italia	Taranto	Urbano	47,0	11,9	34,1	1,3	3,0	0,7	1,4	0,0	0,2	0,3	586,0	
Italia	Montelíbreti	SubUrbano-rural	9,2	0,5	6,0	3,0	38,6	6,2	35,2	0,2	0,2	1,0	360,5	
España	Madrid	SubUrbano	33,6	8,4	34,5	3,8	13,0	3,5	0,4	0,6	0,8	0,1	104,3	
Italia	Castel-porziano	Forestal ^a	11,0	0,0	2,6	4,9	20,1	7,7	48,8	1,3	2,3	1,3	88,7	
Italia	Castel-porziano	Forestal ^b	8,6	0,0	3,9	14,2	28,1	15,0	4,5	8,9	0,6	16,2	95,5	
Francia	Viols en Laval	Forestal ^c	3,0	0,0	6,0	13,0	31,0	21,0	14,0	4,0	8,0	0,0	36,0	
Italia	Monte Cimini	Forestal ^d	12,6	8,4	8,7	1,1	47,3	10,2	0,2	10,0	1,4	0,1	96,2	
Alemania	Storkow	Forestal ^e	12,6	0,2	25,8	0,0	34,5	7,3	0,0	18,5	0,6	0,4	91,2	
España	Burriana	Rural ^f	5,0	0,0	5,0	3,3	24,9	15,8	26,6	18,3	0,0	1,2	25,5	
Italia	Montes Apeninos	Forestal-Rural ^g	1,6	0,0	1,6	6,4	35,2	38,0	12,8	0,0	0,2	2,4	34,0	
Noruega	Islas Svalbard	Remoto ^h	14,9	0,0	5,2	7,0	16,6	6,0	45,3	0,0	0,3	4,8	48,3	
Antártida	Bahía de Ross	Remoto ⁱ	3,3	1,1	0,5	9,6	30,3	43,1	9,6	0,0	0,2	1,5	93,4	
Nepal	Himalaya	Remoto ^j	18,2	2,2	9,9	10,5	24,5	15,7	14,0	1,2	0,2	1,8	126,1	

Ecosistema: ^aPseudos-estepa, ^bPinar, ^cMaquis (vegetación terrestre mediterránea), ^dPinar, ^ePinar, ^fCampo de naranjas, ^gBosques de transición, ^hÁrtico, ⁱAntártico, ^jCumbres elevadas.

Los registros de temperatura indican claramente la transición desde zona urbana a zona rural y forestal, dejando un incremento substancial en productos oxigenados en el aire. Esta alta capacidad oxidativa de la atmósfera en áreas rurales y forestales se pone de manifiesto por los niveles substancialmente altos de compuestos volátiles carbonílicos que proceden de la degradación de los hidrocarburos (BEMA Report, 1994, 1997b). La eficiente conversión de estos hidrocarburos en formaldehído, acetaldehído y acetona que no pueden ser cuantificados por cromatografía de gases MS/MS, es una de las razones que explican los porcentajes tan bajos de COVs no metanizados que son registrados en ambientes rurales y forestales como muestra la Tabla 8.2.

La importancia de la reactividad fotoquímica de los COVs no metanizados en la baja troposfera puede ser mejor entendida al comparar datos tomados en ambientes rurales y forestales con otros tomados en zonas más remotas (Ciccioli et al., 1996a). La reactividad fotoquímica de los COVs no metanizados en lugares fríos y remotos es muy baja, pero a pesar de sus extremadamente bajas tasas de emisión desde fuentes biogénicas, algunos alquenos semivolátiles e isoprenos pueden ser detectados en la atmósfera de tales ambientes hostiles (Ciccioli et al., 1993c). La lentitud de los procesos fotoquímicos a bajas temperaturas permite a los COVs biogénicos sobrevivir mucho más tiempo en estos ambientes (Ciccioli et al., 1993c). Por ejemplo, los compuestos orgánicos reactivos emitidos en los valles nepaleses pueden ser detectados en el monte Everest (Ciccioli et al., 1993c). Particularmente interesante son los datos colectados en la Antártica donde la influencia del transporte de gran alcance es definitivamente menor que en otros sitios, así los análisis de la fracción orgánica extraída de partículas atmosféricas han mostrado que los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH) procedentes de la combustión de combustibles fósiles alcanzan los niveles más bajos observados en la tierra (Ciccioli et al., 1996a).

8.3.2 Niveles de inmisión de COVs no metanizados a escala urbana o regional

Desde 1970 los COVs no metanizados han sido extensamente medidos en diferentes ambientes atmosféricos incluyendo los valores de fondo de la atmósfera (Bonsang & Boissard, 1999). La distribución global de los COVs no metanizados es el resultado de dos factores, (1) las fuentes emisoras de COVs no metanizados y (2) la propia reactividad química del COVs no metanizados que varía dependiendo de la vida media de dichas especies, que van desde varios meses para la especies de COVs no metanizados más estables como el etano, hasta horas o menos para las especies más reactivas como es el caso de los terpenos (Bonsang & Boissard, 1999). En consecuencia los procesos de transporte tienden a redistribuir estas especies dentro de la baja troposfera, principalmente por la influencia de cambios inter-hemisféricos, zonales y verticales (Bonsang & Boissard, 1999).

En la Tabla 8.3 se muestran los niveles promedios de concentración de COVs no metanizados en ppbV determinados en diferentes ambientes de estudio. Como hemos comentado los valores representados son los valores medios en ppbV de COVs no metanizados, aunque también aparecen reflejados en ciertos ámbitos de estudio el intervalo de valores registrado para dichos COVs al carecer de información sobre los valores promedios. Este es el caso del experimento realizado por Coursimault et al. (1994) en la localidad francesa de Lille, por Erygit (2000), en la localidad de Aliaga en Izmir, Turquía y por Barletta et al. (2005), que publicó los valores mínimos y máximos encontrados en ensayos realizados en un total de 43 ciudades de China. La Tabla 8.3 se ha subdividido en cuatro tablas (1, 2, 3 y 4) subdividas a su vez en dos (a y b), es decir 1^a y 1^b, 2^a y 2^b, 3^a y 3^b y 4^a y 4^b. Hemos intentado reflejar en esta tabla toda una recopilación bibliográfica de los numerosos experimentos realizados a escala regional en diferentes ciudades y localidades a lo largo del planeta. Existen numerosos experimentos realizados que no han sido aquí expuestos pues eran muy antiguos en unos casos y en otros sólo analizaban uno o dos de los COVs

no metanizados que determinamos en esta tesis doctoral. Se ha intentado contemplar en esta tabla todos aquellos artículos científicos en los que se haya determinado al menos los BTEX en el ambiente de estudio. De todos los experimentos aquí reflejados solamente los realizados en esta tesis doctoral es donde se realiza un registro continuado y lo largo del tiempo de la distribución de COVs no metanizados. Dichos ensayos se han llevado a cabo desde 2003 a 2008, es decir, por un periodo de estudio de 5 años. En esta comparativa expresamos el promedio anual de 2008 el más reciente de los seis años estudiados. Sólo el experimento realizado por Na & Kim (2001), en la ciudad de Seúl, Corea, refleja un intervalo de estudio de un año, comprendido desde 1998 a 1999. El resto de los artículos científicos reflejan medidas puntuales en cada ambiente de estudio. Podemos observar en dicha tabla como COVs no metanizados como el cloroetano, el 1,1,2-tricloroetano, el 1,2-dicloroetano- (Z), el 1,2-dibromoetano, 1,1,2,2-tetracloroetano, el 1-etil 2-metilbenceno, el 1,3-diclorobenceno, el 1,4-diclorobenceno y el 1,2-diclorobenceno están sólo presentes en muestras tomadas en las campañas de estudio correspondientes a esta tesis doctoral, esto puede ser debido al propio estándar de calibración que otros autores utilizan y que no incluyen estos COVs no metanizados.

Otros COVs no metanizados que no han sido determinados en los ensayos realizados por otros autores y tampoco se han determinado en nuestros experimentos bien porque no estaban presentes en nuestras muestras o porque se encontraban debajo del límite de detección de nuestro equipo han sido; el 1,1-dicloroetano, el 1,2-dicloropropano y el 1,3-dicloropropeno T.

Los COVs no metanizados que no han sido determinados en este estudio o que se encuentran por debajo del límite de detección del equipo y que si han sido observados en otros ambiente son el 1,3-butadieno observado en la atmósfera de Karachi en Pakistán (Barletta et al., 2002) y en diversas ciudades de China (Barletta et al., 2005).

Tabla 8.3. Niveles promedios de concentración de COVs en ppbV en diferentes regiones.

COVs	España		España		España		Francia		Italia		Grecia		Alemania		UK	
	Tenerife Granadilla ^a	Orotava ^b	Tenerife La	Tenerife Santa Cruz ^c	Navarra ^d	Paris ^e	Lille ^f	Roma ^g	Atenas ^h	Munich ⁱ	Birmingham ^j					
Diclorodifluorometano	0,01	0,04	0,04	0,03												
Clorometano	0,03	0,09	0,00	0,00												
Diclorotetrafluoroetano	0,00	0,00	0,00	i.l.d												
Cloroetano	0,47	0,24	0,24	0,23												
1,3 Butadieno	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d												
Bromometano	0,00	0,00	0,00	i.l.d												
Cloroetano	0,00	0,00	0,00	0,00												
Tricloromonofluorometano	0,00	0,00	0,00	0,00												
1,1-dicloroetano	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d												
1,1,2 Tricloroetano	i.l.d	0,00	0,00	0,00												
Diclorometano	0,44	0,24	0,24	0,22												
1,1-dicloroetano	0,00	0,00	0,00	0,00												
1,2-dicloroetano- (Z)	0,00	0,00	0,00	0,00												
Cloroformo	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d												
1,1,1 tricloroetano	0,00	0,00	0,00	0,00												
1,2 dicloroetano-	0,00	0,00	0,00	0,00												
Benceno	0,41	1,01	1,01	0,44	0,75	1,90-5,00	2,43	11,10	5,00	3,00						1,02
Tetracloruro de carbono	0,06	0,01	0,01	0,05												
1,2 dicloropropano-	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d												
Tricloroetileno	0,00	0,00	0,00	i.l.d												
1,3-dicloropropeno Z	0,00	i.l.d	i.l.d	0,00												
1,3 dicloropropeno T	i.l.d	i.l.d	i.l.d	i.l.d												
Tolueno	4,08	2,86	2,86	2,77	1,38	6,40-15,2	5,12	26,47	14,30	5,70						2,04
1,1,2 Tricloro 1,2,2, trifluoroetano	i.l.d	0,00	0,00	0,00												

^aambiente industrial; ^bambiente urbano; ^cambiente urbano-industrial; ^dParra et al., 2006; ^eCoursimault et al., 1995; ^fBorton et al., 2002; ^gBrocco et al., 1997; ^hKim et al., 1997; ⁱRappenglück & Fabian 1999; ^jDerwent et al., 1995.

COV's 1 ^b	España Tenerife		España Tenerife		España Tenerife		España Navarra		Francia		Italia		Grecia		Alemania		UK	
	Granadilla ^a	La Orotava ^b	La Santa Cruz ^c	La Orotava ^b	La Santa Cruz ^c	Paris	Lille	Roma	Arenas	Munich	Birmingham							
1,2-dibromoetano-	0,00	0,00	0,00															
Tetracloroetileno	0,00	0,00	i.l.d															
Clorobenceno-	0,03	0,02	0,00															
Etilbenceno	0,67	0,58	0,55	0,27	0,81	1,10-2,30	0,81	3,93	2,80	1,20	0,48							
m+p-xileno	1,50	1,23	1,36	0,55	2,56	2,80-7,10	2,56	12,58		2,90	1,45							
Estireno	0,13	0,16	0,02															
o-xileno	0,83	0,69	0,62	0,30	0,99	0,90-2,30	0,99	5,78		1,10	0,48							
Xilenos	2,33	1,92	1,98						15,80									
1,1,2,2 tetracloroetano	0,00	i.l.d	0,00															
1,3,5 trimetilbenceno	0,55	0,73	0,58	2,44		1,20-2,40												
1,2,4 trimetilbenceno	0,65	0,74	0,61															
1-ethyl 2-metil benceno	0,35	0,63	0,56															
1,3-diclorobenceno	0,07	0,08	0,01															
1,4-diclorobenceno	0,10	0,11	0,03															
1,2-diclorobenceno	0,02	0,03	0,01															
1,2,4-triclorobenceno	0,10	0,20	0,14															
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3 - Butadieno	0,00	0,00	0,00															
Toma de muestras	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Tubos absorbentes	Muestreador continuo	Tenax	Canisters	Muestreo continuo	Canisters							Canisters
Equipo utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC	GC/FID	GC/FID	GC/MS	GC	GC	GC/MS	GC	GC	GC	GC	GC	GC
Método analítico	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	?	?	?	TO-14 EPA	?	?	?	?	?	?	?	?	?

^aambiente industrial; ^bambiente urbano; ^cambiente urbano-industrial; ^dParra et al., 2006; ^eCoursimault et al., 1995; ^fBorton et al., 2002; ^gBrocco et al., 1997; ^hKim et al., 1997; ⁱRappenglück & Fabian 1999; ^jDerwent et al., 1995.

COVs 2 ^a	Hungría Budapest 1 k	Hungría Budapest 2 l	Turquía Izmir Aliaga ^m	Turquía Izmir Bornova ⁿ	Turquía Izmir Basmane ^ñ	Pakistán Karachi o	China p	China Changchun q	Tailandia Bangkok r	Filipinas Manila s
Diclorodifluorometano						650,00				
Clorometano						2720,00				
Diclorotetrafluoroetano						14,00				
Cloroetano						0,80	0,02-2,50			
1,3 Butadieno						21,80				
Bromometano										
Cloroetano										
Tricloromonofluorometano						298,00				
1,1-dicloroetano										
1,1,2 Tricloroetano						329,00				
Diclorometano										
1,1-dicloroetano										
1,2-dicloroetano- (Z)										
Cloroformo						241,00				
1,1,1 tricloroetano										
1,2 dicloroetano-						10,00				
Benceno	27,40	25,80	0,30-11,1	11,60	17,50	5,20	0,70-10,4	9,00	5,60	3,90
Tetracloruro de carbono						131,00				
1,2 dicloropropano-										
Tricloroetileno										
1,3-dicloropropeno Z										
1,3 dicloropropeno T										
Tolueno	60,80	46,80	0,10-26,9	26,70	27,80	7,10	0,40-11,2	17,50	48,90	44,20
1,1,2 Tricloro 1,2,2, trifluoroetano						83,00				

^kHaszpra et al., 1991; ^lHaszpra et al., 1991; ^mErygit 2000; ⁿMuezzinoglu et al., 2001; ^ñMuezzinoglu et al., 2001; ^oBarletta et al., 2002; ^pBarletta et al., 2005, valores mínimos y máximos obtenidos en 43 ciudades chinas; ^qLiu et al., 2000; ^rColon et al., 2001; ^sColon et al., 2001.

COV's 2 ^b	Hungría Budapest 1 k	Hungría Budapest 2 j	Turquía Izmir Aliaga ^m	Turquía Izmir Bornova ⁿ	Turquía Izmir Basmame ⁿ	Pakistán Karachi o	China p	China Changchun q	Tailandia Bangkok r	Filipinas Manila s
1,2-dibromoetano-										
Tetracloroetileno						68,00				
Clorobenceno-										
Etilbenceno	14,50	10,00		4,90	8,60		0,1-2,7	2,90	8,30	5,00
m+p-xileno	42,70	28,60	0,10-28,2	21,10	19,10		0,20-10,1		18,50	12,70
Estireno										
o-xileno	14,10	0,70	1,30-6,6	21,90	19,50		0,10-6,9		6,60	3,80
Xilenos						4,20				
1,1,2,2 tetracloroetano										
1,3,5 trimetilbenceno				9,40	8,60	0,40	0,04-1,1		1,30	1,80
1,2,4 trimetilbenceno				7,90	7,10	1,00	0,10-2,9			
1-ethyl 2-metil benceno										
1,3-diclorobenceno										
1,4-diclorobenceno										
1,2-diclorobenceno										
1,2,4-triclorobenceno										
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3-Butadieno										
Toma de muestras	Tubos de vidrio	Tubos de vidrio	?	Tubos absorbentes	Tubos absorbentes	Canisters	Canisters	Bolsas absorbentes	Carbopack	Carbopack
Equipo utilizado	GC	GC	?	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/MS	GC/FID	GC/FID
Método analítico	?	?	?	?	?	?	TO-14 EPA	?	?	?

^kHaszpra et al., 1991; ^lHaszpra et al., 1991; ^mErygit 2000; ⁿMuezzinoglu et al., 2001; ^oMuezzinoglu et al., 2001; ^pBarletta et al., 2002; ^qBarletta et al., 2005, valores mínimos y máximos obtenidos en 43 ciudades chinas; ^rLiu et al., 2000;

^sColon et al., 2001; ^tColon et al., 2001,

COVs 3 ^a	Corea Seúl		Corea Ulsan		Corea Ulsan		Corea Yochon		Corea Seúl		Corea Seúl		Corea Seúl		Corea Dae Gu		Japón Yokohama	
	j	u	u	v	w	x	y	z	aa	ab								
Diclorodifluorometano																		
Clorometano																		
Diclorotetrafluoroetano																		
Cloroetano		0,70	4,00		3,30													
1,3 Butadieno																		
Bromometano																		
Cloroetano																		
Tricloromonofluorometano																		
1,1-dicloroetano																		
1,1,2 Tricloroetano																		
Diclorometano		0,80	0,60															
1,1-dicloroetano		i.l.d	i.l.d															
1,2-dicloroetano- (Z)																		
Cloroformo		1,10	0,20															
1,1,1 tricloroetano		0,30	0,40															
1,2 dicloroetano-		0,90	2,10															
Benceno	2,00	1,2	2,10	1,70	2,10	1,10	2,00	0,99	0,38									
Tetracloruro de carbono		0,20	0,20															
1,2 dicloropropano-																		
Tricloroetileno		0,20	0,80															
1,3-dicloropropeno Z																		
1,3 dicloropropeno T																		
Tolueno	10,00	3,90	3,90	11,60	2,00	10,60	16,30	8,58	1,23									
1,1,2 Tricloro																		
1,2,2, trifluoroetano																		

^jKim et al., 1997; ^uNa et al., 2001; ^vNa et al., 2001, Área Industrial; ^wNa et al., 2001, Área Industrial; ^xNa et al., 2003, muestras tomadas por la mañana; ^yNa et al., 2003, muestras tomadas por la tarde; ^zNa et al., 2003, muestras tomadas por la noche; ^{aa}Kim et al., 2008, muestras tomadas en las inmediaciones de un vertedero; ^{ab}Yamamoto et al., 2000.

COV's 3 ^b	Corea Seúl ^j		Corea Ulsan ^u		Corea Ulsan ^v		Corea Yochon ^w		Corea Seúl ^x		Corea Seúl ^y		Corea Seúl ^z		Corea Dae Gu ^{aa}		Japón Yokohama ^{ab}		
1,2-dibromoetano-																			
Tetracloroetileno		i.l.d																	
Clorobenceno-																			
Etilbenceno	0,90	0,70	0,90		1,40	1,50					2,60	2,49							0,12
m+p-xileno		2,10	3,80		2,90	2,90					5,40	0,46							0,46
Estireno		0,30	0,80									0,22							
o-xileno		0,90	1,10		1,20	1,10					2,10	0,13							0,30
Xilenos	2,60																		
1,1,2,2 tetracloroetano																			
1,3,5 trimetilbenceno																			2,18
1,2,4 trimetilbenceno									1,30		1,70	0,32							
1-ethyl 2-metil benceno																			
1,3-diclorobenceno																			
1,4-diclorobenceno																			
1,2-diclorobenceno																			
1,2,4-triclorobenceno																			
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3-Butadieno																			
Toma de muestras	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Tedlars bags	Canisters	Canisters	
Equipo utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/FID	GC/MS	GC/MS	
Método analítico	?	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	EPA Mix- VOCs		TO-14 EPA	TO-14 EPA	

^jKim et al., 1997; ^uNa et al., 2001; ^vNa et al., 2001, Área Industrial; ^wNa et al., 2001, Área Industrial; ^xNa et al., 2003, muestras tomadas por la mañana; ^yNa et al., 2003, muestras tomadas por la tarde; ^zNa et al., 2003, muestras tomadas por la noche; ^{aa}Kim et al., 2008, muestras tomadas en las inmediaciones de un vertedero; ^{ab}Yamamoto et al., 2000.

COVs 4 ^b	Corca	EE, UU, Ciudades US	El Salvador San Salvador	Venezuela Caracas	Ecuador Quito	Chile Santiago	Brasil Sao Paulo 1998	Brasil Sao Paulo 2001
	ac	ad	ae	af	ag	ah	ai	aj
1,2-dibromoetano-			i.l.d					
Tetracloroetileno	0,10		i.l.d					
Clorobenceno-			i.l.d					
Etilbenceno	0,70	0,30	1,76	1,10	0,50	1,50	1,40	2,00
m+p-xileno	2,30		1,74	3,70	1,50	5,70	4,20	4,60
Estireno	0,30		i.l.d					
o-xileno	0,80		1,07	1,30	0,50	2,00	1,40	1,50
Xilenos		2,50	2,81					
1,1,2,2 tetracloroetano			i.l.d					
1,3,5 trimetilbenceno	0,30		0,91	0,70		0,90	0,60	
1,2,4 trimetilbenceno	0,80		0,75					
1-ethyl 2-metil benceno			0,80					
1,3-diclorobenceno			i.l.d					
1,4-diclorobenceno			i.l.d					
1,2-diclorobenceno			i.l.d					
1,2,4-triclorobenceno			2,04					
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3								
Butadieno								
Toma de muestras	Canisters	Canisters	Canisters	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Canisters
Equipo utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/MS
Método analítico	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	?	?	?	?	TO-14 EPA

^{ac}Na & Kim 2001 centro ciudad, media anual periodo 1998-1999; ^{ad}Kim et al., 1997; ^{ae}muestras tomadas el 1 de julio de 2004 por miembros del Iter en la ciudad de San Salvador; ^{af}Colon et al., 2001; ^{ag}Colon et al., 2001; ^{ah}Colon et al., 2001; ^{ai}Colon et al., 2001; ^{aj}Colon et al., 2001.

El cloroformo ha sido otro COVs no metanizados determinado en la atmosfera de otros ambientes de estudios como en la ciudad de Karachi en Pakistán (Barletta et al., 2002), en muestras tomadas en la baja troposfera de zonas urbanas e industriales de Ulsan, Corea (Na et al., 2001) y en muestras tomadas en el centro de la ciudad de Seúl en Corea por Na & Kim (2001).

De todos los COVs no metanizados son sin duda alguna los BTEX los más ampliamente estudiados junto con el 1,3,5 trimetilbenceno y el 1,2,4 trimetilbenceno. Los mayores niveles de benceno determinados en la baja troposfera de las diferentes regiones estudiadas han sido encontrados en Budapest, Hungría por Haszpra et al. (1991). Estos valores ascienden a 27,40 y 25,80 ppbV. La región de Basmane y Bornova en Izmir, Turquía (Muezzinoglu et al., 2001) son la segunda y tercera área con mayores niveles de concentración de benceno registrado. Investigaciones sobre la calidad del aire en la ciudad de Roma en Italia reflejan niveles de concentración de benceno en la atmósfera que la sitúan como la cuarta ciudad de la Tabla 8.3 con mayores niveles de inmisión (Brocco et al., 1997). Teniendo en cuenta los niveles de concentración de benceno en la baja troposfera reflejados en la Tabla 8.3 la ciudad china de Changchun seguiría a la ciudad de Roma en cuanto a niveles de concentración de benceno en la atmósfera. Estos niveles de benceno fueron registrados en Changchun por Liu et al. (2000). La ciudad de Bangkok en Tailandia presenta niveles de concentración de benceno ligeramente inferiores a los determinados en la atmosfera de las ciudades anteriormente citadas. Las ciudades de Karachi en Pakistán y Sao Paulo en Brasil en 1998 (Colon et al., 2001) presentan similares niveles de concentración de benceno. Entre 5 y 2 ppbV encontramos las ciudades de Atenas, Grecia (Kim et al., 1997), Santiago de Chile (Colon et al., 2001), Caracas, Venezuela (Colon et al., 2001), San Salvador, el Salvador, Manila, Filipinas (Colon et al., 2001), Munich, Alemania (Rappenglück & Fabian 1999), Sao Paulo Brasil en 2001 (Colon et al., 2001), Lille Francia (Borton et al., 2002), las áreas industriales de las ciudades coreanas de Ulsan y Yochon (Na et al., 2001) y por último muestras tomadas en la ciudad Seúl por Kim et al. (1997) y por Na et al. (2003), durante un muestreo realizado durante

la noche en dicha ciudad en el año 2003. Las ciudades en las que se han registrado los niveles de benceno más bajos, inferiores a 2 ppbV han sido; la ciudad coreana de Seúl, en un experimento realizado a primera hora de la mañana (Na et al., 2003), Quito, Ecuador (Colon et al., 2001), Ulsan, Corea, en su área más residencial, la ciudad de Seúl, en muestras tomadas durante la tarde (Na et al., 2003), Birmingham, UK (Derwent et al., 1995), el ambiente urbano de la Orotava, Tenerife, España, Dae Gu, Corea Kim et al., 2008), Navarra, España (Parra et al., 2006), muestras tomadas en la atmósfera del área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife, España, Yokohama, Japón (Yamamoto et al., 2000) y el ambiente encontrado con menores niveles de concentración de benceno sería el ambiente industrial del Polígono Industrial de Granadilla, Tenerife, España.

Los niveles de concentración de tolueno determinados en la atmósfera de diferentes regiones son también mostrados en la tabla 8.3. Las diez localidades con mayores niveles de concentración de dicho COVs no metanizado han sido; Budapest, Hungría (Haszpra et al., 1991), la ciudad de Bangkok en Tailandia (Colon et al., 2001), le sigue la ciudad de Manila, Filipinas (Colon et al., 2001), ciudad de San Salvador en el Salvador, localidades de Basmane y Bornova en Izmir, Turquía (Muezzinoglu et al., 2001), la ciudad de Roma en Italia (Brocco et al., 1997), la ciudad china de Changchun (Liu et al., 2000). Niveles de inmisión de tolueno entre 17 y 5 ppbV han sido localizados en las ciudades de Seúl, Corea, muestras tomadas durante la noche (Na et al., 2003), Atenas, Grecia (Kim et al., 1997), Seúl, Corea, muestras tomadas durante el día (Na et al., 2003), Seúl, Corea muestras tomadas durante la tarde (Na et al., 2003), Seúl, Corea (Kim et al., 1997), Sao Paulo Brasil en 2001 (Colon et al., 2001), Dae Gu (Kim et al., 2008), Santiago de Chile, Chile (Colon et al., 2001), Caracas, Venezuela (Colon et al., 2001), Sao Paulo Brasil en 1998 (Colon et al., 2001), Karachi, Pakistán (Barletta et al., 2002), Seúl, Corea muestras tomadas durante la tarde (Na et al., 2003), Munich, Alemania (Rappenglück & Fabian 1999), Lille Francia (Borton et al., 2002). Las regiones con menores valores de concentración de tolueno en la atmósfera han sido; el Polígono Industrial de Granadilla, Tenerife, España, Quito, Ecuador (Colon et al., 2001), Ulsan, Corea

(Na et al., 2001a), ambiente urbano de la Orotava, Tenerife, España, aire urbano-industrial de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, España, ciudades de EE.UU. (Kim et al., 1997), Birmingham, UK (Derwent et al., 1995), Yochon, Corea (Na et al., 2001a), Navarra, España (Parra et al., 2006) y la ciudad con menos concentración atmosférica de tolueno sería Yokohama, Japón (Yamamoto et al., 2000).

Los niveles de concentración de etilbenceno en la atmósfera reflejados en la Tabla 8.3 dejan patente como las regiones con mayores niveles de concentración de dicho COVs no metanizado han sido; Budapest, Hungría (Haszpra et al., 1991), le sigue la región de Basmane en Izmir, Turquía (Muezzinoglu et al., 2001). La ciudad de Bangkok en Tailandia ocuparía el tercer lugar en cuanto a niveles de concentración de etilbenceno en la atmósfera (Colon et al., 2001). Le sigue la ciudad de Manila, Filipinas (Colon et al., 2001), Bornova, Turquía, (Muezzinoglu et al., 2001). Roma, Italia (Brocco et al., 1997). Changchun (Liu et al., 2000). Atenas, Grecia (Kim et al., 1997) Seúl, Corea, en muestras tomadas por la noche (Na et al., 2003), Dae Gu (Kim et al., 2008). El resto de las localidades estudiadas y detalladas en la Tabla 8.3 presentan niveles de concentración de etilbenceno en la atmósfera inferior a 2,00 ppbV.

Los niveles de inmisión de m+p xileno y o-xileno en la atmósfera reflejan como son las regiones de Budapest (Hungría), Izmir (Turquía), Bangkok (Tailandia), Manila (Filipinas), Roma (Italia), Seúl (Corea), Santiago de Chile (Chile) y Sao Paulo (Brasil 1998 y 2001) en las que se han registrados mayores niveles de dichos COVs no metanizados. Las áreas estudiadas en esta tesis doctoral, Santa Cruz de Tenerife. La Orotava y Polígono Industrial de Granadilla presentan niveles relativamente bajos de concentración de m+p xileno y o-xileno en la baja troposfera de estas regiones. Sólo el o-xileno presenta niveles de concentración algo más significativos para el caso de estudio de Santa Cruz de Tenerife.

La distribución regional de radicales bencénicos como el 1,3,5 trimetilbenceno y el 1,2,4 trimetilbenceno reflejan como las áreas de Izmir en

Turquía presentan los mayores niveles de concertación de estos COVs no metanizados en la atmósfera. Áreas de Seúl (Corea) y Karachi (Pakistán) también presentan niveles significativos de 1,2,4 trimetilbenceno.

Observando los resultados publicados por diferentes autores y recopilando los mismos en la Tabla 8.3 podemos concluir de manera general como las regiones con niveles de concentración de BTEX en la atmósfera más altos son; Budapest (Hungria), Izmir (Turquía), Manila (Filipinas), Bangkok (Tailandia), Roma (Italia), Sao Paulo (Brasil), Seúl (Corea), Grecia (Atenas) y Santiago de Chile (Chile). Las áreas de estudio de esta tesis doctoral presentan niveles de concentración de COVs no metanizados en la atmósfera relativamente bajos.

En la Tabla 8.4 podemos observar los niveles de concentración promedio en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de COVs no metanizados determinados en diferentes ambientes de estudio. Al igual que anteriormente se ha hecho una muy buena recopilación bibliográfica con información de niveles de concentración en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en la baja troposfera de las diferentes regiones estudiadas por los diferentes autores. Se puede observar en esta tabla algunos estudios sobre los niveles de concentración de COVs no metanizados en las mismas localidades que se han estudiado en la tabla anterior, en otros casos, las regiones de estudio son diferentes. Muchos autores únicamente publican datos de concentración de COVs en sus estudios en ppbV, mientras otros muestran la información publicada en ppbV y en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, es por esta razón que se ha creído conveniente realizar dos tablas de distribución regional de COVs, una con concentraciones en ppbV y otra en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, puesto que las regiones estudiadas en la mayoría de los casos es diferente.

La Tabla 8.4 al igual que la Tabla 8.3 ha sido subdividida, en esta ocasión en cinco tablas (1, 2, 3, 4 y 5) subdivididas también a su vez en dos (a y b), es decir 1^a y 1^b, 2^a y 2^b, 3^a y 3^b, 4^a y 4^b y 5^a y 5^b. Se ha hecho un esfuerzo por introducir en dicha tabla la mayor recopilación bibliográfica posible de estudios sobre los diferentes niveles de concentración en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en diferentes ambientes de estudio. Los datos reflejados en los tres puntos de muestreo estudiados en esta tesis doctoral son para el promedio obtenido año 2008.

COVs no metanizados como el diclorodifluorometano, clorometano, diclorotetrafluoroetano, cloroetano, bromometano, cloroetano, 1,1,2-tricloroetano, 1,2-dicloroetano (Z), 1,3-dicloropropeno T, 1,1,2-tricloro 1,2,2-trifluoroetano, 1,1,2,2-tetracloroetano, 1-etil,2-metilbenceno, 1,2,4-triclorobenceno y 1,1,2,3,4,4-hexacloro 1,3-butadieno están presentes en la Tabla 8.4 en muestras tomadas en esta tesis doctoral, una posible explicación puede ser debida al propio estándar de calibración que otros autores utilizan y que no incluyen estos COVs no metanizados.

Existen varios COVs no metanizados que no han sido determinados ni en esta tesis doctoral ni en los ensayos realizados por otros autores. Estos COVs no metanizados han sido; 1,1-dicloroetano, 1,2-dicloropropano y 1,3-dicloropropeno Z. La razón de la ausencia de estos compuestos en nuestras muestras puede ser debido a que no se encontraban presente en dichas muestras o que la concentración a la que se encontraban estaba por debajo del límite de detección del equipo.

En la Tabla 8.4 podemos observar COVs no metanizados que no han sido determinados en esta tesis doctoral o que se encuentran por debajo del límite de detección de nuestro equipo y que han sido determinados en otros ambientes de estudio. Entre estos COVs no metanizados destaca el 1,3-butadieno observado en la atmósfera de Alberta (Edmonton) en Canadá (Cheng et al., 1997) y en diversas localidades de la ciudad china de Hong Kong (Mong Kok, Kwai Chung, Yuen Long, Causeway bay y Hak Tsui) (Lee et al., 2002). El cloroformo al igual que el 1,3-butadieno ha sido determinado en la atmosfera de Alberta (Edmonton) en Canadá (Cheng et al., 1997) y en las ciudad chinas de Hong Kong en diferentes ambientes industriales, urbanos, intersecciones de tráfico, áreas residenciales, etc, (Mong Kok, Kwai Chung, Yuen Long, Causeway bay y Hak Tsui) (Lee et al., 2002) y Guangzou (Chan et al., 2002).

Existen muchos COVs no metanizados que han sido observados en esta tesis doctoral y en escasos lugares. COVs no metanizados como el diclorometano han sido determinados en la baja troposfera de Mumbai (India) (Srivastava et al.,

2005), Alberta (Edmonton, Canadá) (Cheng et al., 1997) y diversas áreas de la ciudad china de Hong Kong (Mong Kok, Kwai Chung, Yuen Long, Causeway bay y Hak Tsui) (Lee et al., 2002). El 1,1-dicloroetano, el 1,1,1-tricloroetano, el 1,2-dibromoetano, el clorobenceno, el 1,3-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno y 1,2-diclorobenceno son otros COVs no metanizados encontrados en la atmósfera de Mumbai (India) (Srivastava et al., 2005), el 1,1,1-tricloroetano y el clorobenceno además ha sido observado en diversas áreas de la ciudad china de Hong Kong (Lee et al., 2002) y el 1,3-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno y 1,2-diclorobenceno también han sido determinados en la atmósfera de la ciudad española de la Coruña (Fernández-Martínez et al., 2001). COVs no metanizados como el 1,2-dicloroetano y el tetracloruro de carbono están presentes en la baja troposfera de Alberta (Edmonton, Canadá) (Cheng et al., 1997), este último COVs también ha sido observado en la India, en la ciudad de Mumbai (Srivastava et al., 2005). El tricloromonofluorometano ha sido observado en la atmósfera de las ciudades de Hong Kong y Guangzhou en China (Lee et al., 2002; Chan et al., 2002) y en Porto Alegre, Brasil (Grosjean et al., 1998). COVs no metanizados como el tricloroetileno, el tetracloroetileno y el estireno han sido observados en la baja troposfera de Alberta (Edmonton, Canadá) (Cheng et al., 1997), las ciudades chinas de Hong Kong y Guangzhou (Lee et al., 2002; Chan et al., 2002). El tricloroetileno y el tetracloroetileno además han sido observados en la ciudad de Wesfalia, Alemania (Pfeffer, 1994). El estireno también ha sido encontrado en muestras de la Coruña, España (Fernández-Martínez et al., 2001), Birmingham, Reino Unido (Kim et al., 2001) y Porto Alegre, Brasil (Grosjean & Grosjean, 1998). Radicales bencénicos como el 1,3,5-trimetilbenceno han sido detectados en la atmósfera de la ciudad de la Coruña, (España), Mumbai (India), Bangkok, (Tailandia), Manila, (Filipinas), Caracas, (Venezuela), Quito, (Ecuador), Sao Paulo, (Brasil), Santiago de Chile, (Chile) y San Salvador, (el Salvador). Otro radical bencénico como el 1,2,4-trimetilbenceno ha sido observado en la atmósfera de diferentes regiones como la Coruña, (España), Alberta (Edmonton, Canadá), Mumbai (India) y San Salvador, (el Salvador).

Tabla 8.4. Niveles promedios de concentración de COVs en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en diferentes regiones.

COVs 1 ^a	España Tenerife		España Tenerife		España Tenerife		España Tenerife		Grecia Atenas		Alemania Westfalia		Reino Unido Birmingham		Reino Unido Londres	
	Granadilla ^a	La Orotava ^b	Santa Cruz ^c	La Orotava ^b	Santa Cruz ^c	La Coruña ^d	Atenas ^e	Westfalia ^f	Birmingham ^g	Londres ^h						
Diclorodifluorometano	0,05	0,18	0,13													
Clorometano	0,14	0,45	0,00													
Diclorotetrafluoroetano	0,00	0,00	0,00													
Cloroetano	1,22	0,62	0,59													
1,3 Butadieno	0,00	0,00	0,00													
Bromometano	0,00	0,00	0,00													
Cloroetano	0,00	0,00	0,00													
Tricloromonofluorometano	0,00	0,00	0,00													
1,1-dicloroetano	0,00	0,00	0,00													
1,1,2 Tricloroetano	0,00	0,00	0,00			i.d.l										
Diclorometano	1,56	0,83	0,78													
1,1-dicloroetano	0,00	0,00	0,00													
1,2,-dicloroetano- (Z)	0,00	0,00	0,00													
Cloroformo	0,00	0,00	0,00													
1,1,1 tricloroetano	0,00	0,00	0,00									1,80				
1,2 dicloroetano-	0,00	0,00	0,00													
Benceno	1,34	3,28	1,44	9,48	5,00	15,50	49,60									16,10
Tetracloruro de carbono	0,39	0,08	0,32													
1,2 dicloropropano-	0,00	0,00	0,00													
Tricloroetileno	0,00	0,00	0,00									0,60				
1,3-dicloropropeno Z	0,00	0,00	0,00													
1,3 dicloropropeno T	0,00	0,00	0,00													
Tolueno	15,63	10,93	10,58	27,94	14,30	42,10	108,10									30,70
1,1,2 Tricloro	0,00	0,00	0,00													
1,2,2,-trifluoroetano																

^aambiente industrial; ^bambiente urbano; ^cambiente urbano-industrial;
^dFernández-Martínez et al., 2001, ambiente urbano, centro ciudad; ^eMoschonas & Glavas 1996; ^fPfeffer 1994; ^gKim et al., 2001; ^hDerwent et al., 1995.

COVs 1 ^b	España Tenerife Granadilla ^d	España Tenerife La Orotava ^b	España Tenerife Santa Cruz ^e	España La Coruña ^d	Grecia Atenas ^e	Alemania Westfalia ^f	Reino Unido Birmingham ^g	Reino Unido Londres
	1,2-dibromooetano-	0,00	0,00	0,00				
Tetracloroetileno	0,00	0,00	0,00	5,05		3,90		
Clorobenceno-	0,13	0,10	0,00					
Etilbenceno	2,97	2,54	2,42		2,70	10,00	12,40	5,60
m+p-xileno	6,62	5,43	6,03	11,84	3,70	26,70	43,90	18,10
Estireno	0,58	0,71	0,09	3,16			1,70	
o-xileno	3,67	3,05	2,74	3,82	3,70	8,90	13,20	6,90
Xilenos	10,29	8,48	8,77					
1,1,2,2 tetracloroetano	0,00	0,00	0,00	i.d.l				
1,3,5 trimetilbenceno	2,75	3,65	2,88	10,54				
1,2,4 trimetilbenceno	3,27	3,69	3,03	32,26				
1-ethyl 2-metil benceno	1,77	3,16	2,81					
1,3-diclorobenceno	0,43	0,47	0,05	0,95				
1,4-diclorobenceno	0,60	0,67	0,15	i.d.l				
1,2-diclorobenceno	0,13	0,15	0,05	i.d.l				
1,2,4-triclorobenceno	0,73	1,50	1,08					
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3-Butadieno	0,00	0,00	0,00					
Toma de muestras	Canisters	Canisters	Canisters	Tubos adsorbentes	Canister Summa 6L	Muestreo continuo	Canisters	Muestreo continuo
Equipo Utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/FID	GC/MS	GC/FID
Método	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	?	?	?	TO-14 EPA	?

^aambiente industrial; ^bambiente urbano; ^cambiente urbano-industrial;

^dFernández-Martínez et al., 2001, ambiente urbano, centro ciudad; ^eMoschonas & Glavas 1996; ^fPfeffer 1994; ^gKim et al., 2001; ^hDerwent et al., 1995.

COVs 2°	Canada		India		India		India		India		Tailandia		Filipinas	
	Alberta Edmonton ^l	Alberta Edmonton ^l	Mumbai ^k	Mumbai ^j	Mumbai ^m	Mumbai ⁿ	Bangkok ⁿ	Mumbai ^o	Mumbai ^o	Bangkok ⁿ	Mumbai ^o	Bangkok ⁿ	Mumbai ^o	Mumbai ^o
Diclorodifluorometano														
Clorometano														
Diclorotetrafluoroetano														
Cloroetano														
1,3 Butadieno	0,51													
Bromometano		0,16												
Cloroetano														
Tricloromonofluorometano														
1,1-dicloroetano														
1,1,2 Tricloroetano														
Diclorometano	0,73	0,58	5,03	5,94	6,82	12,14								
1,1-dicloroetano			5,07	80,15	i.d.1	i.d.1								
1,2,-dicloroetano- (Z)														
Cloroformo	0,11	0,10	2,73	1,92	0,70	4,03								
1,1,1 tricloroetano			i.d.1	i.d.1	0,16	i.d.1								
1,2 dicloroetano-	0,04	i.d.1												
Benceno	3,38	2,60	45,31	127,20	201,58	348,42	18,20							12,60
Tetracloruro de carbono	0,69	0,22	2,65	0,54	0,33	5,92								
1,2 dicloropropano-														
Tricloroetileno	0,08	0,06												
1,3-dicloropropeno Z														
1,3 dicloropropeno T														
Tolueno	7,09	4,56	29,16	128,70	79,64	303,27	186,00							168,00
1,1,2 Tricloro														
1,2,2,-trifluoroetano														

ⁱCheng et al., 1997, Centro ciudad; ^jCheng et al., 1997, área industrial; ^kSrivastava et al., 2005, área residencial; ^lSrivastava et al., 2005, área comercial ; ^mSrivastava et al., 2005, área industrial ; ⁿSrivastava et al., 2005, intersección de tráfico; ⁿGee & Sollars 1998; ^oGee & Sollars 1998.

COVs ^{2b}	Canada		Canada		India		India		India		Tailandia		Filipinas	
	Alberta Edmonton ⁱ	Alberta Edmonton ⁱ	Mumbai ^k	Mumbai ^l	Mumbai ^m	Mumbai ⁿ	Bangkok ⁿ	Manila ^o						
1,2-dibromoetano-			5,07	i,l,d	i,l,d									
Tetracloroetileno	0,43													
Clorobenceno-			4,09	i,l,d	0,17	i,l,d								
Etilbenceno			0,20	0,29	0,27	3,01	36,60	21,90						
m+p-xileno	4,56	2,84												55,80
Estireno	0,26	0,16												
o-xileno	1,94	i,l,d												16,80
Xilenos			1,12	0,50	0,21	0,92								
1,1,2,2 tetracloroetano														
1,3,5 trimetilbenceno			0,86	0,26	0,44	0,34	6,60	9,20						
1,2,4 trimetilbenceno	2,10	1,61	1,39	1,10	0,06	0,29								
1-ethyl 2-metil benceno														
1,3-diclorobenceno			0,13	0,10	i,l,d	0,18								
1,4-diclorobenceno			i,l,d	1,72	i,l,d	i,l,d								
1,2-diclorobenceno			i,l,d	1,80	i,l,d	i,l,d								
1,2,4-triclorobenceno														
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3 Butadieno														
Toma de muestras	Canister Summa 6L	Canister Summa 6L	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters
Equipo Utilizado	GC/FID y GC/MS	GC/FID y GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID
Método	?	?	TO-17 EPA	TO-17 EPA	TO-17 EPA	TO-17 EPA	?	?	?	?				

ⁱCheng et al., 1997, Centro ciudad; ^jCheng et al., 1997, área industrial;
^kSrivastava et al., 2005, área residencial; ^lSrivastava et al., 2005, área comercial ;
^mSrivastava et al., 2005, área industrial ; ⁿSrivastava et al., 2005, intersección de
tráfico; ^oGee & Sollars 1998; ^pGee & Sollars 1998.

COVs 3 ^a	Corea Seúl		Corea Ulsan		Corea Ulsan		Corea Yochon		Corea Seúl		Corea Seúl		Corea Seúl		Corea Dae Gu		Japón Yokohama	
	t	u	u	v	w	x	y	z	aa	ab								
Diclorodifluorometano																		
Clorometano																		
Diclorotetrafluoroetano																		
Cloroetano		0,70		4,00	3,30													
1,3 Butadieno																		
Bromometano																		
Cloroetano																		
Tricloromonofluorometano																		
1,1-dicloroetano																		
1,1,2 Tricloroetano																		
Diclorometano		0,80		0,60														
1,1-dicloroetano		i.l.d		i.l.d														
1,2,-dicloroetano- (Z)																		
Cloroformo				1,10	0,20													
1,1,1 tricloroetano				0,30	0,40													
1,2 dicloroetano-				0,90	2,10													
Benceno	2,00			1,2	2,10	2,10	2,10	2,10	1,70	1,10	2,00	0,99	0,38					
Tetracloruro de carbono		0,20		0,20														
1,2 dicloropropano-																		
Tricloroetileno		0,20		0,80														
1,3-dicloropropeno Z																		
1,3 dicloropropeno T																		
Tolueno	10,00			3,90	3,90	2,00	11,60	10,60	16,30	8,58								
1,1,2 Tricloro																		
1,2,2, trifluoroetano																		

^PLiu et al., 2000, intersección de tráfico; ^QLiu et al., 2000, centro ciudad; ^RLiu et al., 2000, área industrial; ^SLiu et al., 2000, área inhabitada; ^TLiu et al., 2000, área limpia; ^ULee et al., 2002, área residencial; ^VLee et al., 2002, área industrial; ^WLee et al., 2002, área urbano-industrial.

COVs 3 ^b	China		China		China		China		China		China	
	Changchun	Hong Kong Mong Kok ^u	Hong Kong Kwai Chung ^y	Hong Kong Yuen Long ^w	China							
	A ^p	B ^q	C ^r	D ^s	E ^t							
1,2-dibromoetano-									67,08	25,38		1,92
Tetracloroetileno												
Clorobenceno-												
Etilbenceno	18,80	14,50	11,90	11,20	7,80				11,65	24,68		7,44
m+p-xileno	23,40	18,30	15,80	12,60	12,10				22,45	27,88		12,27
Estireno									3,35	7,20		i,l,d
o-xileno									10,63	13,39		5,12
Xilenos												
1,1,2,2 tetracloroetano												
1,3,5 trimetilbenceno												
1,2,4 trimetilbenceno												
1-ethyl 2-metil benceno												
1,3-diclorobenceno												
1,4-diclorobenceno												
1,2-diclorobenceno												
1,2,4-triclorobenceno												
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3												
Butadieno												
Toma de muestras	Tubos adsorbentes	Canisters	Canisters	Canisters	Canisters							
Equipo Utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS								
Método	?	?	?	?	?	?	?	?	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA

^pLiu et al., 2000, intersección de tráfico; ^qLiu et al., 2000, centro ciudad; ^rLiu et al., 2000, área industrial; ^sLiu et al., 2000, área inhabitada; ^tLiu et al., 2000, área limpia; ^uLee et al., 2002, área residencial; ^vLee et al., 2002, área industrial; ^wLee et al., 2002, área urbano-industrial.

COVs 4 ^a	Corea	EE, UU, Ciudades US	El Salvador, San Salvador	Venezuela Caracas	Ecuador Quito	Chile Santiago	Brasil Sao Paulo 1998	Brasil Sao Paulo 2001
	Seúl ^{ac}	^{ad}	^{ae}	^{af}	^{ag}	^{ah}	^{ai}	^{aj}
Diclorodifluorometano			i.l.d					
Clorometano			i.l.d					
Diclorotetrafluoroetano			i.l.d					
Cloroetano			i.l.d					
1,3 Butadieno			i.l.d					
Bromometano			i.l.d					
Cloroetano			i.l.d					
Tricloromonofluorometano			i.l.d					
1,1-dicloroetano			i.l.d					
1,1,2 Tricloroetano			i.l.d					
Diclorometano	0,40		i.l.d					
1,1-dicloroetano	0,30		i.l.d					
1,2,-dicloroetano- (Z)			i.l.d					
Cloroformo	0,10		i.l.d					
1,1,1 tricloroetano	0,20		i.l.d					
1,2 dicloroetano-			i.l.d					
Benceno	1,00	1,60	3,28	4,40	1,60	4,60	5,20	2,60
Tetracloruro de carbono	0,10		i.l.d					
1,2 dicloropropano-			i.l.d					
Tricloroetileno	0,20		i.l.d					
1,3-dicloropropeno Z			i.l.d					
1,3 dicloropropeno T			i.l.d					
Tolueno	6,40	2,30	28,73	7,60	4,00	7,80	7,40	9,00
1,1,2 Tricloro 1,2,2, trifluoroetano			i.l.d					

^xLee et al., 2002, área comercial; ^yLee et al., 2002, área limpia; ^zChan et al., 2002, área industrial ; ^{aa}Chan et al., 2002, área comercial; ^{ab}Chan et al., 2002, área residencial; ^{ac}Chan et al., 2002, centro ciudad; ^{ad}Chan et al., 2002, intersección tráfico ; ^{ae}Chan et al., 2002.

COVs	China		China		China		China		China		China		China	
	Hong Kong Causeway bay ^x	Hong Kong Hak Tsui ^y	Hong Kong z	Hong Kong	Guangzhou									
1,2-dibromooctano-														
Tetracloroetileno	3,85	1,87	30,40	13,60	1,10	1,30	14,90	0,20	0,50					8,20
Clorobenceno-			0,80	0,40	i,l,d	0,20								
Etilbenceno	13,70	2,20	5,90	2,10	1,00	1,00	3,10							15,60
m+p-xileno	13,47	2,68	18,20	10,60	6,80	7,60	12,10							38,10
Estireno	i,l,d	i,l,d	4,20	0,40	0,30	0,40	1,80							9,80
o-xileno	7,67	1,45	9,60	2,20	1,40	1,40	4,60							18,20
Xilenos														
1,1,2,2 tetracloroetano														
1,3,5 trimetilbenceno														
1,2,4 trimetilbenceno														
1-ethyl 2-metil benceno														
1,3-diclorobenceno														
1,4-diclorobenceno														
1,2-diclorobenceno														
1,2,4-triclorobenceno														
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3-Butadieno														
Toma de muestras	Canisters	Canisters	Tubos adsorbentes											
Equipo utilizado	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS	GC/MS
Método analítico	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA	TO-14 EPA

^xLee et al., 2002, área comercial; ^yLee et al., 2002, área limpia; ^zChan et al., 2002, área industrial; ^{aa}Chan et al., 2002, área comercial; ^{ab}Chan et al., 2002, área residencial; ^{ac}Chan et al., 2002, centro ciudad; ^{ad}Chan et al., 2002, intersección tráfico; ^{ae}Chan et al., 2002.

COVs 5 ^a	El Salvador		Venezuela		Ecuador		Chile		Brasil		Brasil	
	San Salvador ^{af}		Caracas ^{ag}		Quito ^{ah}		Santiago ^{ai}		Sao Paulo 1998 ^{aj}		Porto Alegre ^{ak}	
Diclorodifluorometano	i.l.d											
Clorometano	i.l.d											
Diclorotetrafluoroetano	i.l.d											
Cloroetano	i.l.d											
1,3 Butadieno	i.l.d											
Bromometano	i.l.d											
Cloroetano	i.l.d											
Tricloromonofluorometano	i.l.d											8,30
1,1-dicloroetano	i.l.d											
1,1,2 Tricloroetano	i.l.d											
Diclorometano	i.l.d											
1,1-dicloroetano	i.l.d											
1,2,-dicloroetano- (Z)	i.l.d											
Cloroformo	i.l.d											
1,1,1 tricloroetano	i.l.d											
1,2 dicloroetano-	i.l.d											
Benceno	10,63		14,20		5,00		14,80		16,70			24,90
Tetracloruro de carbono	i.l.d											
1,2 dicloropropano-	i.l.d											
Tricloroetileno	i.l.d											
1,3-dicloropropeno Z	i.l.d											
1,3 dicloropropeno T	i.l.d											
Tolueno	109,93		28,90		15,20		29,80		28,10			43,10
1,1,2 Tricloro 1,2,2,trifluoroetano	i.l.d											

^{af} muestras tomadas el 1 de julio de 2004 por miembros del Iter en la ciudad de San Salvador; ^{ag}Gee & Sollars 1998; ^{ah}Gee & Sollars 1998; ^{ai}Gee & Sollars 1998;

^{aj}: Gee & Sollars 1998; ^{ak}Grosjean & Grosjean, 1998.

COVs 5 ^b	El Salvador San Salvador ^{ac}		Venezuela Caracas ^{af}		Ecuador Quito ^{ag}		Chile Santiago ^{ah}		Brasil Sao Paulo 1998 ^{ai}		Brasil Porto Alegre	
	1,2-dibromoetano-	i.l.d										
Tetracloroetileno	i.l.d											
Clorobenceno-	i.l.d											
Etilbenceno	7,78	5,00	2,20	6,50					6,00		13,70	
m+p-xileno	7,67	16,40	6,40	25,20					18,50		28,00	
Estireno	i.l.d										5,90	
o-xileno	4,74	5,70	2,00	8,90					6,20		11,00	
Xilenos	12,41											
1,1,2,2 tetracloroetano	i.l.d											
1,3,5 trimetilbenceno	4,62	3,30	i.l.d	4,70					3,00			
1,2,4 trimetilbenceno	3,75											
1-ethyl 2-metil benceno	4,06											
1,3-diclorobenceno	i.l.d											
1,4-diclorobenceno	i.l.d											
1,2-diclorobenceno	i.l.d											
1,2,4-triclorobenceno	2,04											
1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3 Butadieno	1,33											
Toma de muestras	Canisters	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Carbopack	Canister Summa	
Equipo Utilizado	GC/MS	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/FID	GC/MS	
Método	TO-14 EPA	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

^{af} muestras tomadas el 1 de julio de 2004 por miembros del Iter en la ciudad de San Salvador; ^{ag}Gee & Sollars 1998; ^{ah}Gee & Sollars 1998; ^{ai}Gee & Sollars 1998;

^{aj}: Gee & Sollars 1998; ^{ak}Grosjean & Grosjean, 1998.

Como hemos comentado anteriormente, los BTEX son los COVs no metanizados más ampliamente estudiados. Los mayores niveles de concentración de benceno en la atmósfera han sido observados en la atmósfera de la ciudad de Mumbai en la India. Srivastava et al. (2005) tomó muestras en zonas de intersecciones de tráfico, en áreas industriales y en áreas comerciales. La segunda ciudad en la que se han determinado los mayores niveles de inmisión de benceno en la baja troposfera ha sido la ciudad de Birmingham en el Reino Unido. Después de la ciudad de Mumbai en la India y de la ciudad de Birmingham en Reino Unido encontramos los mayores niveles de concentración de benceno en la atmósfera de las ciudades chinas de Changchun, Guangzhou y Hong Kong (Liu et al., 2000; Chan et al., 2002; Grosjean & Grosjean, 1998). Niveles de benceno en la baja troposfera entre 20 y 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ han sido localizados en las ciudades de Hong Kong (Chan et al., 2002) muestras tomadas en un área residencial de la ciudad, Sao Paulo, Brasil (Gee & Sollars 1998), Londres, Reino Unido (Derwent et al., 1995), Westfalia, Alemania (Pfeffer 1994), área residencial de Mon Kok en Hong Kong, China (Lee et al., 2002), área industrial de Kwai Chung en Hong Kong, China (Lee et al., 2002). Santiago de Chile, Chile (Gee & Sollars 1998), Caracas, Venezuela (Gee & Sollars 1998), Manila, Filipinas (Gee & Sollars 1998), San Salvador, el Salvador, área urbano-industrial de Yuen Long en Hong Kong, China (Lee et al., 2002), área comercial de Causeway Bay en Hong Kong, China (Lee et al., 2002), la Coruña (Fernández-Martínez et al., 2001), Changchun, China (Liu et al., 2000), Quito, Ecuador, Atenas, Grecia (Moschonas & Glavas 1996), Edmonton en Alberta, Canadá (Cheng et al., 1997), la Orotava, Tenerife, España, Hak Tsui área libre de contaminación a las afueras de Hong Kong, China (Lee et al., 2002), Santa Cruz de Tenerife, España El Polígono Industrial de Granadilla, Tenerife, España es una de las áreas con menor concentración de benceno en la atmósfera, 1,34 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ promedio de benceno. Según la directiva 2000/69/CE, el valor límite horario de benceno en la baja troposfera para la protección de la salud humana es de 5 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1atm, 20°C), de las siguientes ciudades europeas; La Coruña, Atenas, Westfalia, Birmingham, y Londres, Reino Unido no cumplen dicha

directiva aplicable en 2010. La Orotava, Santa Cruz de Tenerife y el Polígono Industrial de Granadilla en Tenerife, España son las ciudades que se ajustarían actualmente a dicha normativa.

La distribución regional de los niveles de tolueno en la atmósfera refleja según la Tabla 8,4 como son las ciudades de Mumbai (Srivastava et al., 2005), Bangkok, Tailandia (Gee & Sollars 1998), Manila, Filipinas (Gee & Sollars 1998) y Hong Kong, China las cuatro áreas con mayores niveles de inmisión de tolueno en la baja troposfera. Le sigue nuevamente en nivel de concentración de tolueno en la atmósfera muestras tomadas en un área comercial de Mumbai, la India (Srivastava et al., 2005) y muestras tomadas en un área industrial de Hong Kong (Chan et al., 2002). Valores en la baja troposfera inferiores a $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, han sido determinados en las ciudades de Hong Kong, China (Chan et al., 2002), Yuen Long, Hong Kong, China (Lee et al., 2002), Porto Alegre, Brasil (Grosjean & Grosjean, 1998), Westfalia, Alemania (Pfeffer 1994), Hong Kong, China (Chan et al., 2002), Changchun, China (Liu et al., 2000), Londres, Reino Unido (Derwent et al., 1995), Santiago de Chile, Chile (Gee & Sollars 1998), Mumbai, India (Srivastava et al., 2005), Caracas, Venezuela (Gee & Sollars 1998), Sao Paulo, Brasil (Gee & Sollars 1998), La Coruña, España (Fernández-Martínez et al., 2001). Polígono Industrial de Granadilla, Tenerife, España, Quito, Ecuador (Gee & Sollars 1998), Atenas, Grecia (Moschonas & Glavas 1996), La Orotava, Tenerife, España, Santa Cruz de Tenerife, España. Con niveles de inmisión de benceno inferiores a $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ encontramos las ciudades de Edmonton, Alberta, Canadá.

Los valores de concentración de etilbenceno en la atmósfera terrestre no son tan dispares como los observados para el benceno y el tolueno. Las ciudades con mayores niveles de concentración de etilbenceno han sido Bangkok, Tailandia (Gee & Sollars 1998), Kwai Chung, Hong Kong, China (Lee et al., 2002) y Manila, Filipinas (Gee & Sollars 1998). El resto de ciudades representadas en la Tabla 8.4 presentan niveles de etilbenceno inferiores a $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Las áreas con menor concentración de etilbenceno han sido determinadas en ambientes

residenciales de la ciudad de Hong Kong en China (Chan et al., 2002). Si observamos los niveles de concentración de xilenos en la Tabla 8.4, podemos observar como los niveles de m+p xileno determinados en la atmósfera de las diferentes ciudades son siempre superiores a los niveles de concentración de o-xileno determinados en la baja troposfera. Los mayores niveles de concentración de xilenos (m+p xileno y o-xileno) en la atmósfera terrestre según la Tabla 8.4 han sido determinados en la ciudad de Bangkok en Tailandia, Manila, Filipinas Birmingham, Reino Unido, Porto Alegre, Brasil y Kwai Chung. Para el caso de estudio del o-xileno las ciudades con mayores niveles de concentración son las mismas que las determinadas para el m+p xileno pero el orden varia, encontrando; Guangzhou, China (Chan et al., 2002), Manila, Filipinas (Gee & Sollars 1998) y Kwai Chung (Lee et al., 2002), Birmingham, Reino Unido (Kim et al., 2001) y Porto Alegre, Brasil (Grosjean & Grosjean, 1998). El resto de las áreas representadas en la Tabla 8.4 presenta valores inferiores a $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para el m+p xileno y $11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ para el o-xileno. La ciudad de Santa Cruz de Tenerife, España presenta niveles de m+p xileno y de o-xileno de $6,01$ y $2,74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente. Mientras que en la ciudad de la Orotava se han registrados niveles de concentración de m+p xileno y o-xileno de $5,43$ y $3,05 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente. En el Polígono Industrial de Granadilla, los niveles de concentración de m+p xileno y o-xileno en la baja troposfera observados fueron de $6,62$ y $3,67 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente. Relacionando los valores de concentración presentados en las tablas 8.1 y 8.4 en las que se realiza la diferenciación entre un ambiente y otro en función de la concentración de COVs no metanizados determinada en los mismos. Podemos concluir que las concentraciones de COVs no metanizados registrados en las ciudades de Manila (Filipinas), Bangkok (Tailandia), Mumbai (India) y Hong Kong (China) presentan concentraciones típicas de ambientes urbanos ($500-1500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Las ciudades de Birmingham (Reino Unido), Westfalia (Alemania), La Coruña (España), Santiago de Chile (Chile), Porto Alegre (Brasil), San Salvador (El Salvador) y Changun (China) presentan concentraciones de COVs no metanizados típicas de áreas suburbanas.

Las ciudades estudiadas en esta tesis (Granadilla, Orotava y S/C de Tenerife) estarían caracterizadas consideradas áreas rurales en función de los niveles de inmisión de COVs no metanizados determinados.

8.3.3 Niveles de inmisión de COVs no metanizados en la Baja Troposfera de la isla de Tenerife

Para una correcta visualización de los resultados obtenidos, los niveles de concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera de la isla de Tenerife se han agrupado en: benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados, CFC y COVs no metanizados totales. En la Tabla 8.5 se muestran los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera del Polígono Industrial de Granadilla desde el año 2003 hasta este año 2008. Como se puede observar, excepto para el benceno ($1,34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), el o-xileno ($3,67 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y el m+p xileno ($6,62 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) cuyos máximos promedios de concentración se han determinado en el periodo 2008. El resto de los COVs no metanizados han presentado sus mayores promedios de concentración en la atmósfera de esta área de estudio durante el periodo de estudio 2004. Estos valores han sido $22,31 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de tolueno, $4,30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de etilbenceno, $32,47 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de BTEX, $19,45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de radicales bencénicos, $43,62 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de hidrocarburos aromáticos no halogenados, $10,83 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de hidrocarburos halogenados, $0,51 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de CFC y $54,66 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ de COVs totales.

En las Figuras 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.13 y 8.14 podemos observar diferentes diagramas de barras con la distribución espacial de cada COVs estudiado en el Polígono Industrial de Granadilla. Este tipo de diagramas nos permiten visualizar con mayor facilidad como ha sido la evolución temporal de los COVs no metanizados durante los diferentes periodos de estudio y la distribución media final correspondiente a todo el periodo de ensayo de esta tesis doctoral, desde 2003 a 2008.

Tabla 8.5. Valores promedio de concentración de COVs en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ por año de estudio en el ambiente industrial del polígono Industrial de Granadilla, Tenerife.

Compuestos	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Benceno	0,34	0,15	0,57	0,95	0,66	1,34
Tolueno	20,25	22,31	12,08	8,11	15,89	15,63
Etilbenceno	3,48	4,30	2,84	1,69	3,26	2,97
m+p xileno	2,08	3,30	3,61	2,63	2,86	6,62
o-xileno	1,39	2,41	2,26	2,74	1,97	3,67
BTEX	27,54	32,47	21,36	16,11	24,53	30,23
Radicales bencénicos	12,43	19,45	9,82	7,21	12,00	12,77
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	33,46	43,62	27,17	21,63	31,10	38,59
Hidrocarburos halogenados	9,23	10,83	3,58	8,94	8,05	4,77
CFC	0,02	0,51	0,04	0,20	0,19	0,05
COVs totales	43,20	54,66	30,79	30,58	39,35	43,97

En las Figuras 8.15, 8.16, 8.17, 8.18, 8.19, 8.20, 8.21 y 8.22 se muestra la distribución espacial de COVs no metanizados con respecto a la variable meteorológica dirección del viento. Los datos meteorológicos de la dirección del viento han sido obtenidos de las estaciones meteorológicas instaladas en las instalaciones del ITER, en el Polígono Industrial de Granadilla. En las siguientes figuras podemos observar la concentración de benceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en este ambiente de estudio.

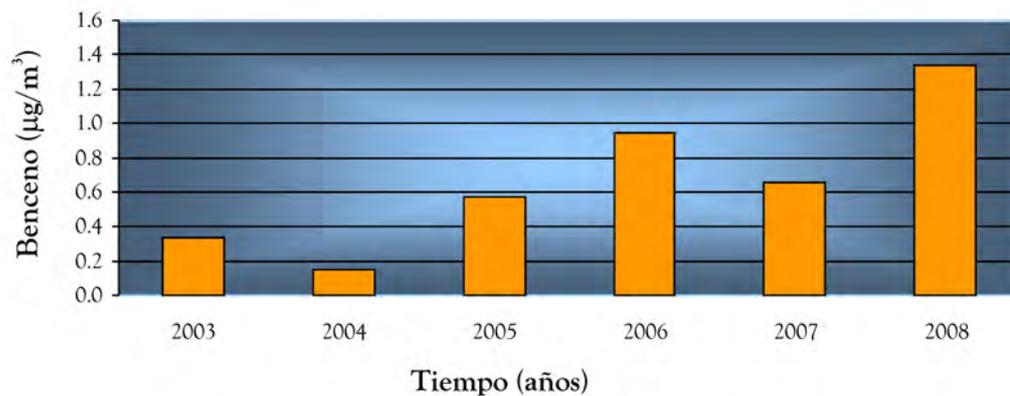


Figura 8.4.- Diagramas de barras de la distribución temporal de benceno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

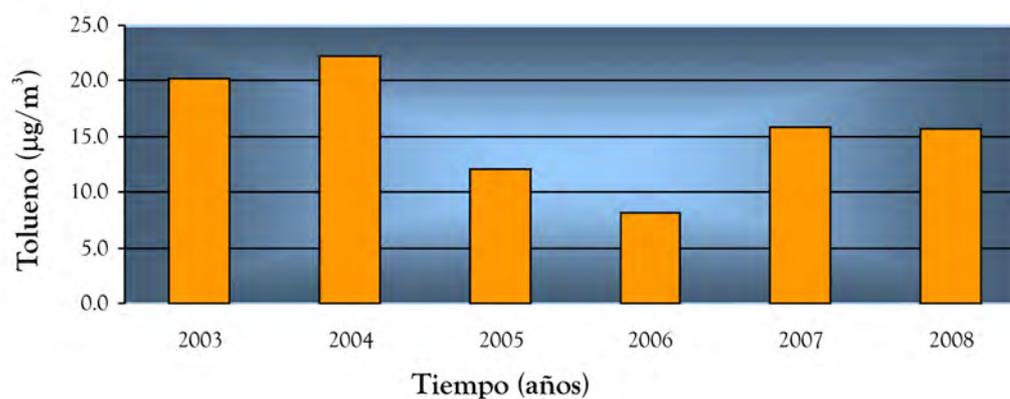


Figura 8.5.- Diagramas de barras de la distribución temporal de tolueno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

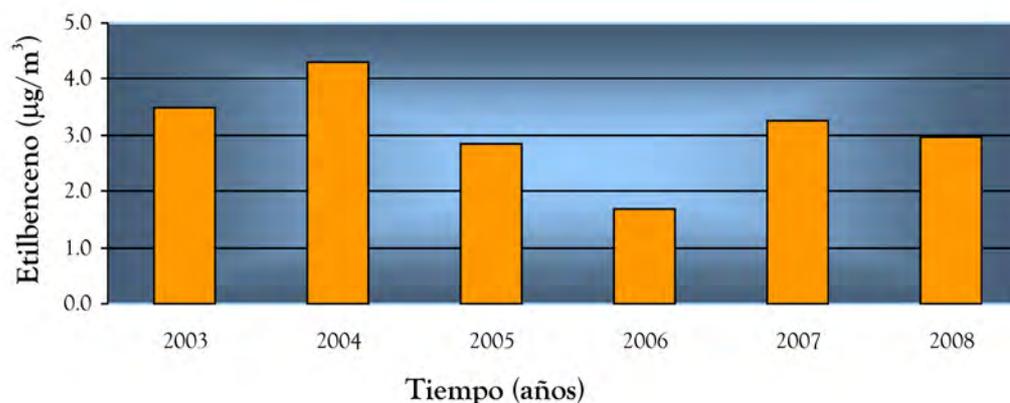


Figura 8.6.- Diagramas de barras de la distribución temporal de etilbenceno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

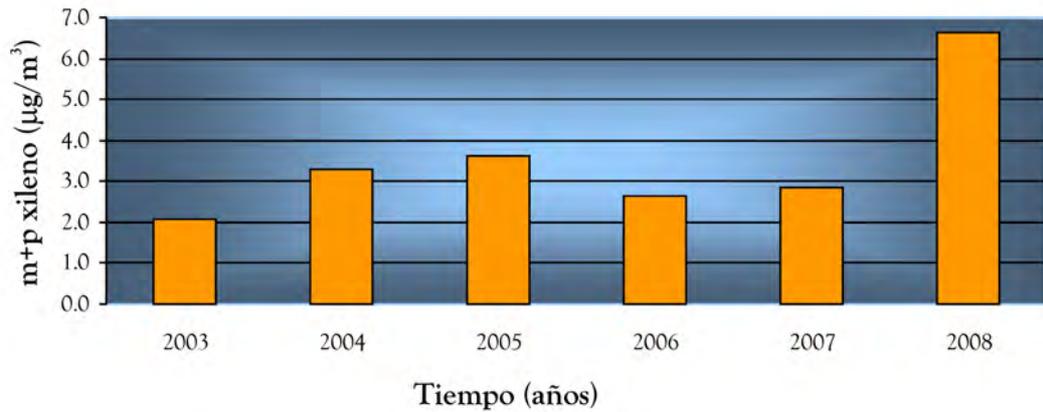


Figura 8.7.- Diagramas de barras de la distribución temporal de m+p xileno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

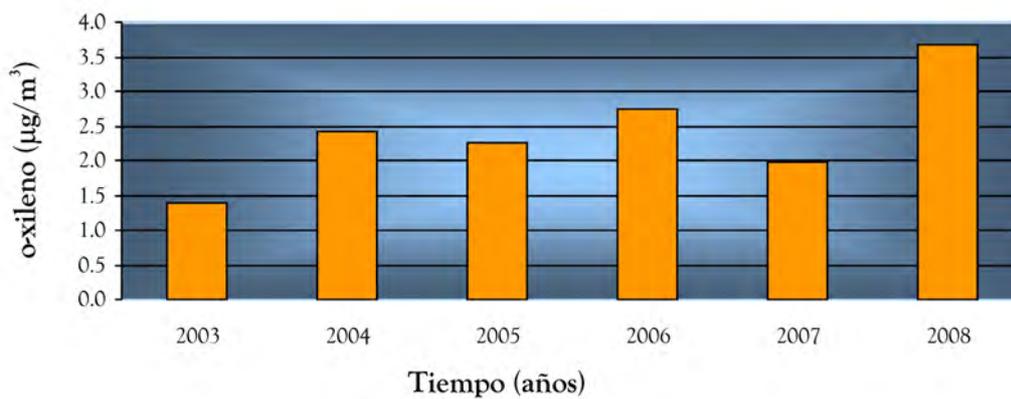


Figura 8.8.- Diagramas de barras de la distribución temporal de o-xileno en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

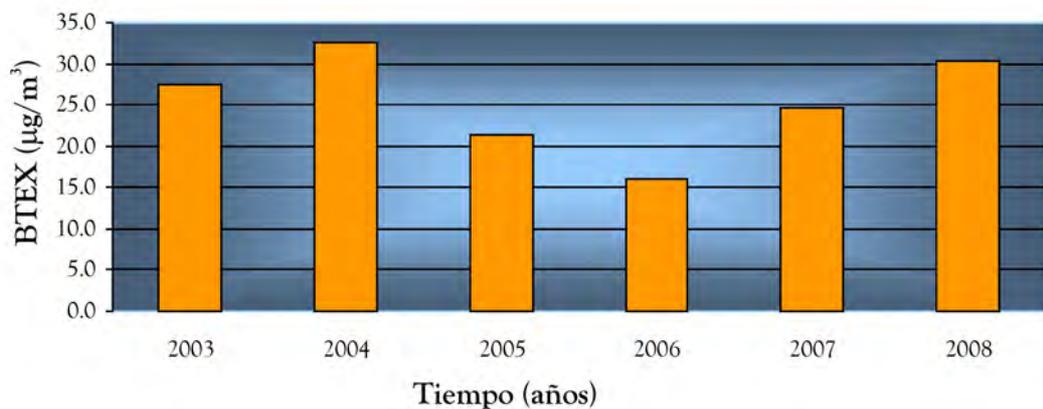


Figura 8.9.- Diagramas de barras de la distribución temporal de BTEX en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

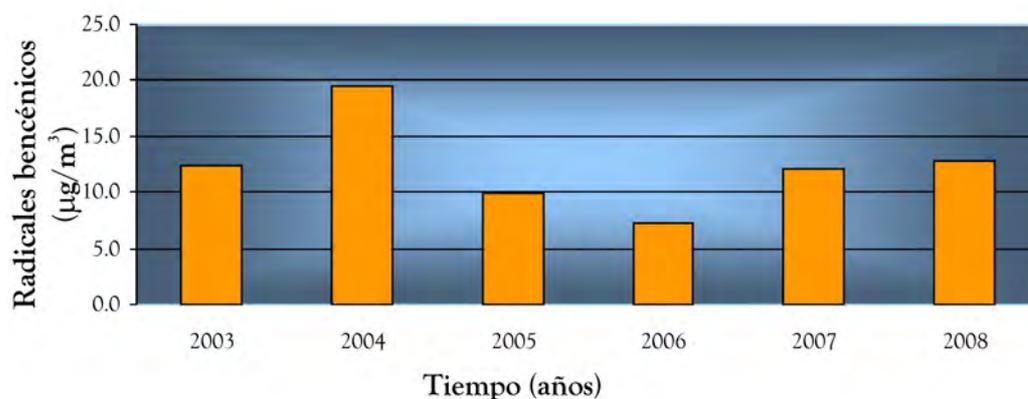


Figura 8.10.- Diagramas de barras de la distribución temporal de radicales bencénicos en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

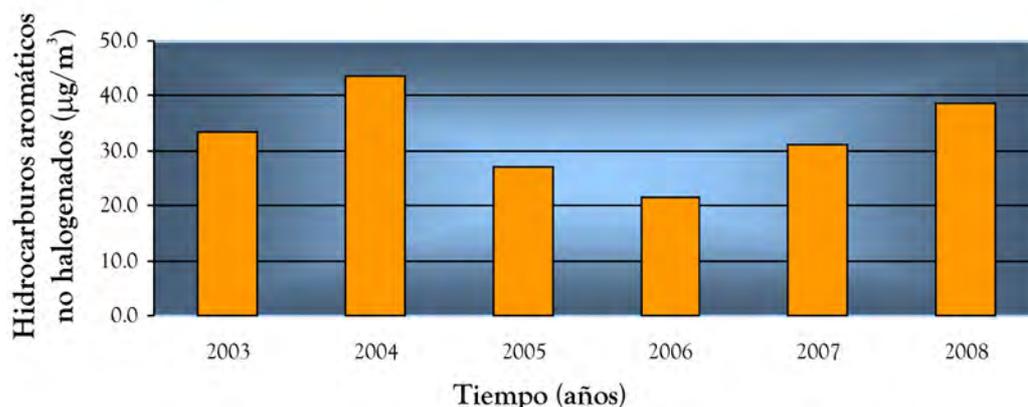


Figura 8.11.- Diagramas de barras de la distribución temporal de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

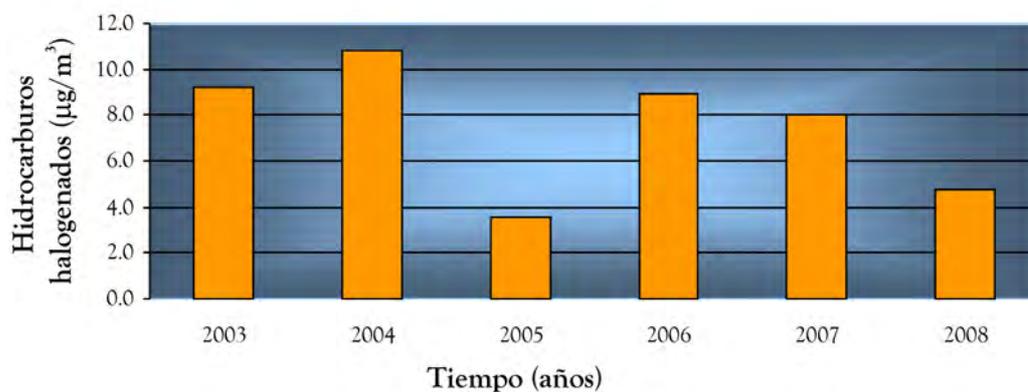


Figura 8.12.- Diagramas de barras de la distribución temporal de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

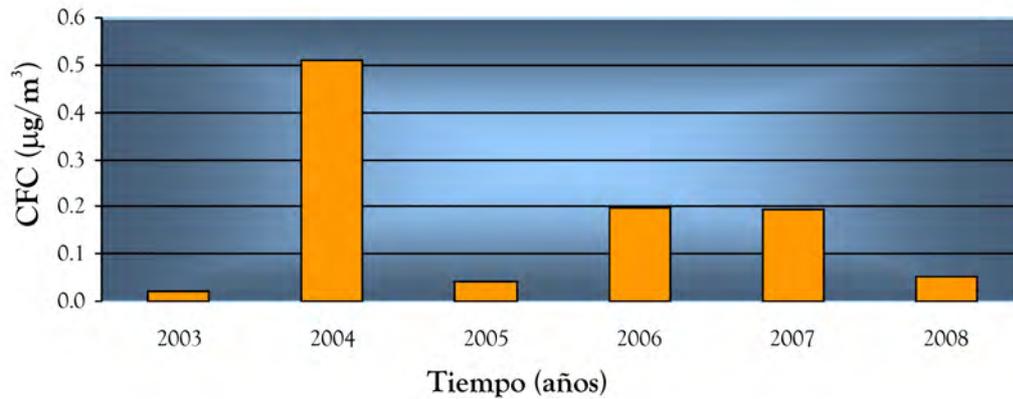


Figura 8.13.- Diagramas de barras de la distribución temporal de CFC en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

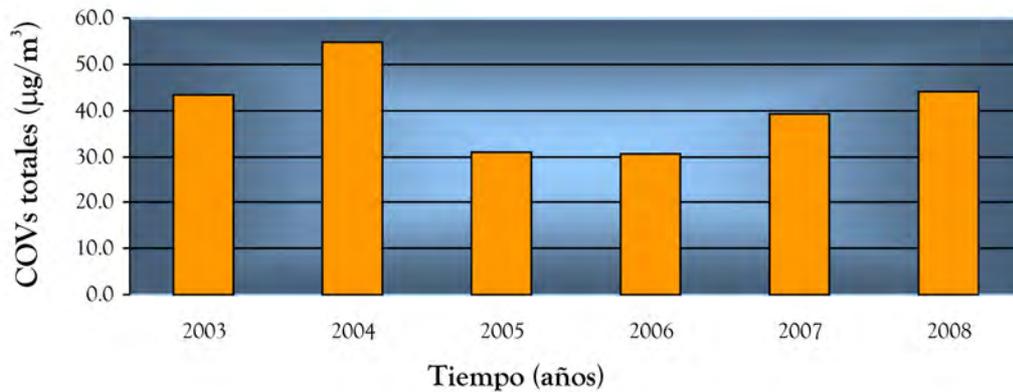


Figura 8.14.- Diagramas de barras de la distribución temporal de COVs totales en las diferentes etapas de estudio en el Polígono Industrial de Granadilla.

Como podemos apreciar claramente en las siguientes figuras la principal fuente de contaminación de COVs no metanizados que llegan hasta el punto de muestreo del Polígono Industrial de Granadilla tiene una orientación noreste, que se corresponde con la dirección de viento predominante en esta área de estudio. La fuentes de contaminación posibles ubicadas en está dirección son la central térmica de Granadilla y la Cementera “Cement Investment”. También se pueden observar en menor medida otras dos direcciones de aporte de COVs no metanizados, una de ellas con dirección sureste y otra con dirección suroeste. La única fuente posible ubicada en dirección sureste es el mar, posiblemente el spray marino. En dirección suroeste encontramos como posibles fuentes de COVs los invernaderos localizados en el medano y el Aeropuerto Reina Sofía.

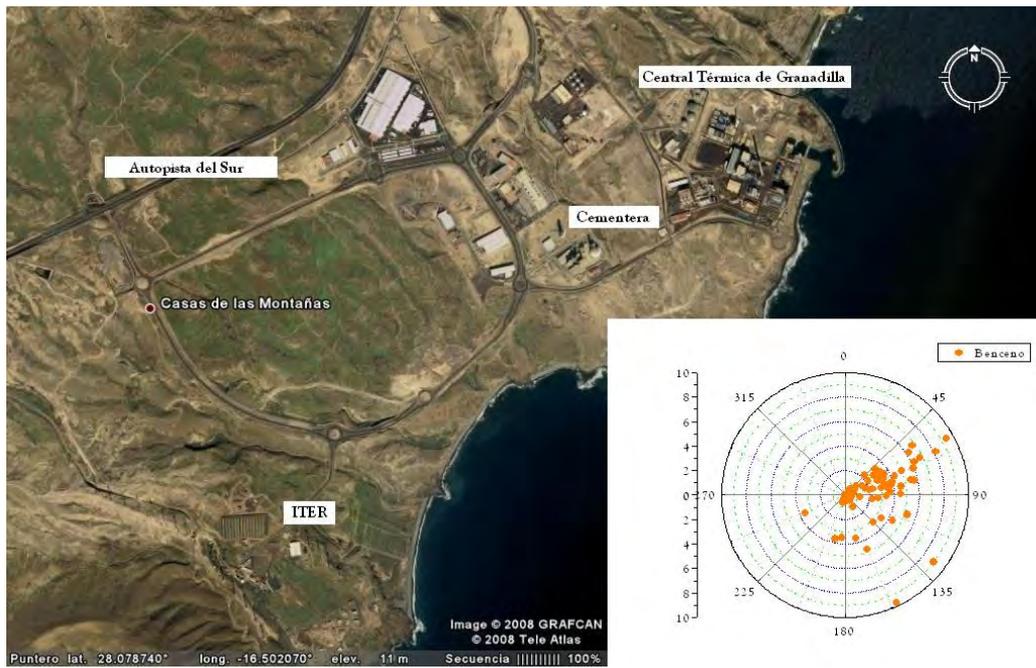


Figura 8.15.- Distribución de la concentración de benceno en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

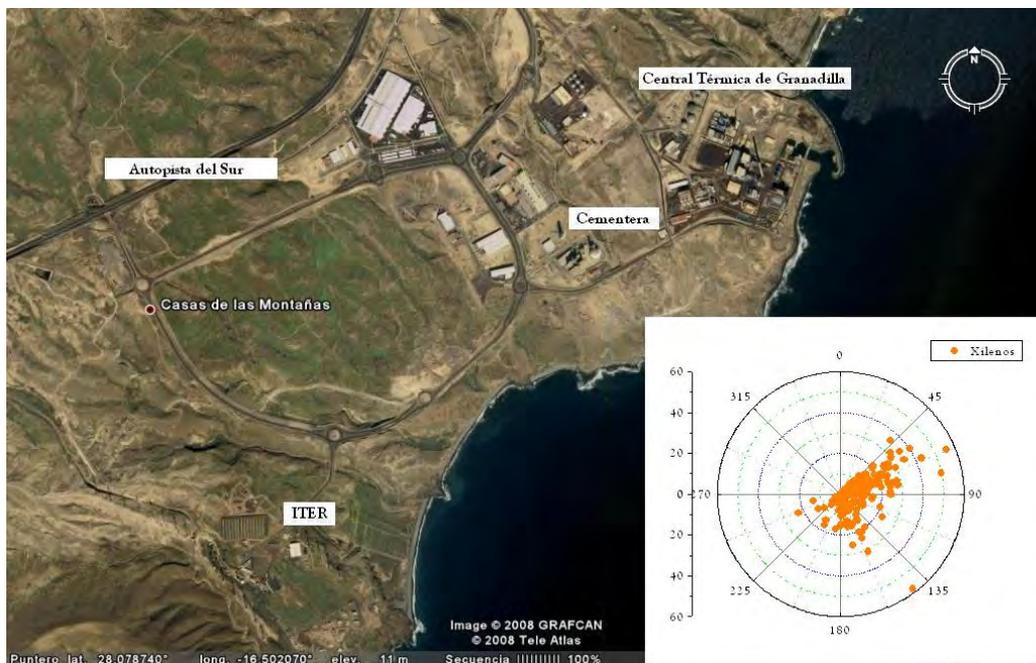


Figura 8.16.- Distribución de la concentración de xilenos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

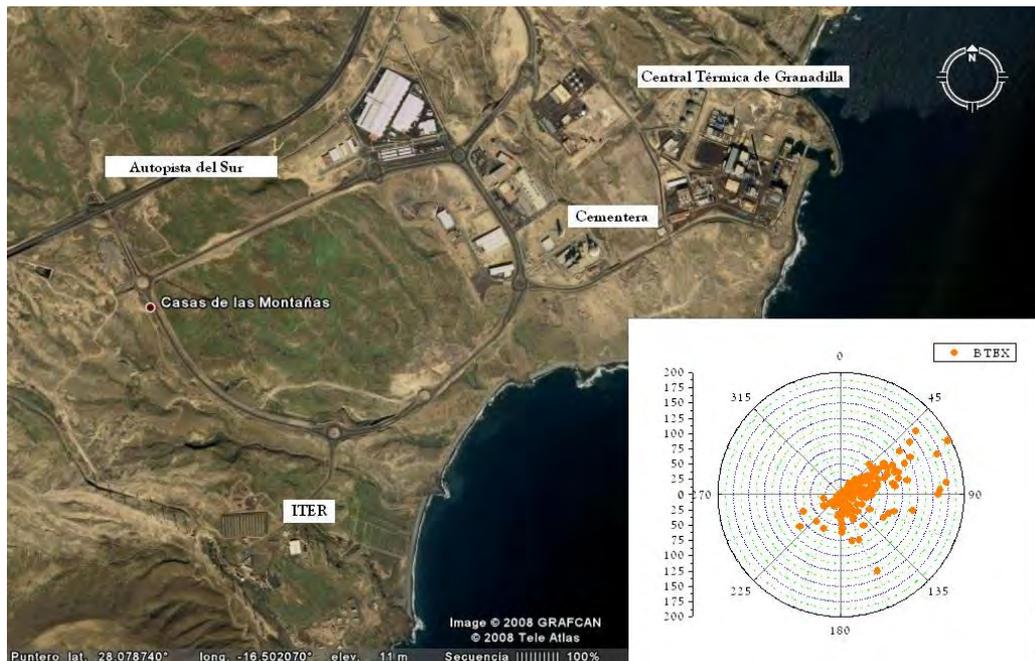


Figura 8.17.- Distribución de la concentración de BTEX en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

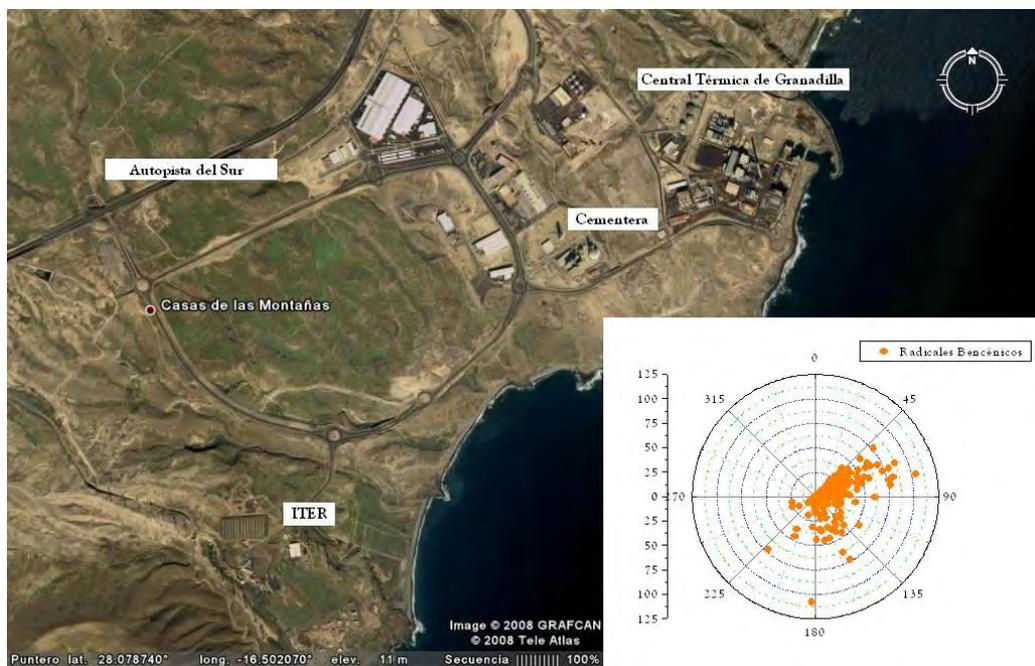


Figura 8.18.- Distribución de la concentración de radicales bencénicos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

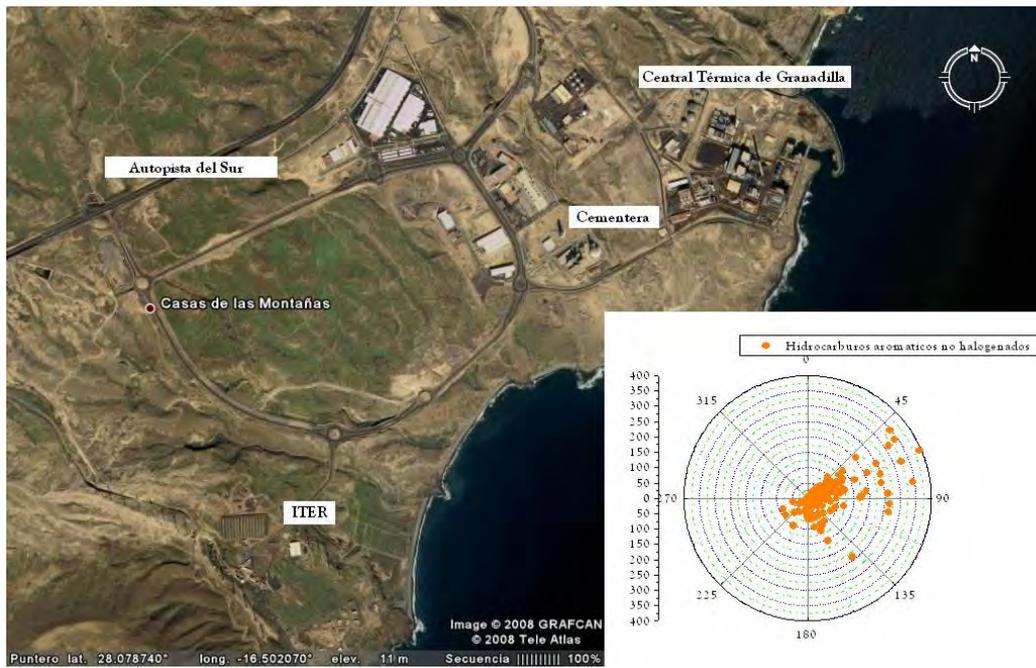


Figura 8.19.- Distribución de la concentración de hidrocarburos aromáticos no halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

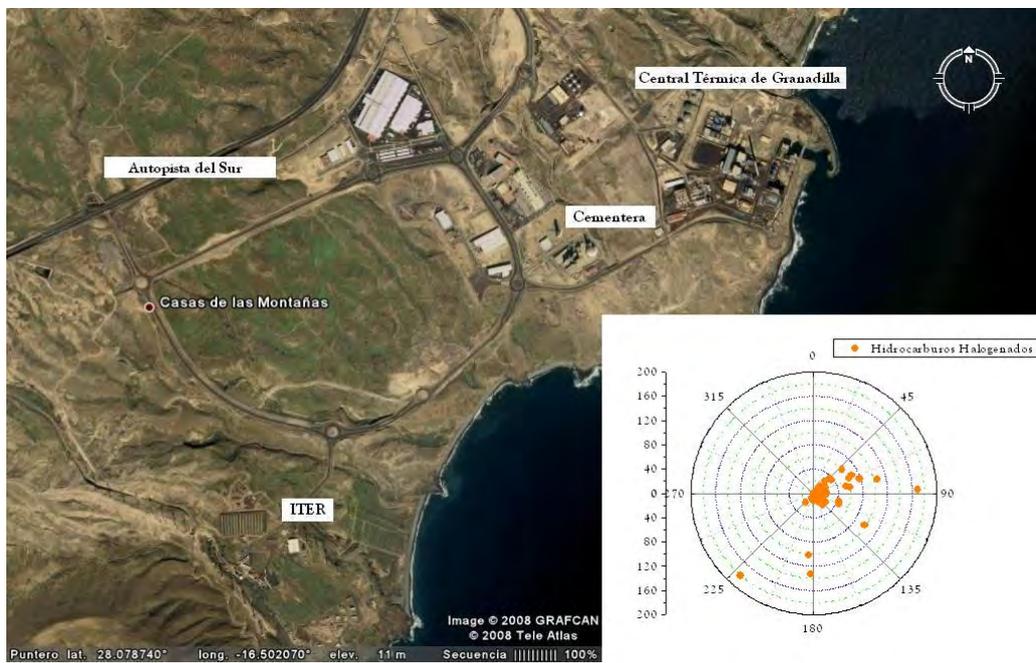


Figura 8.20.- Distribución de la concentración de hidrocarburos halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

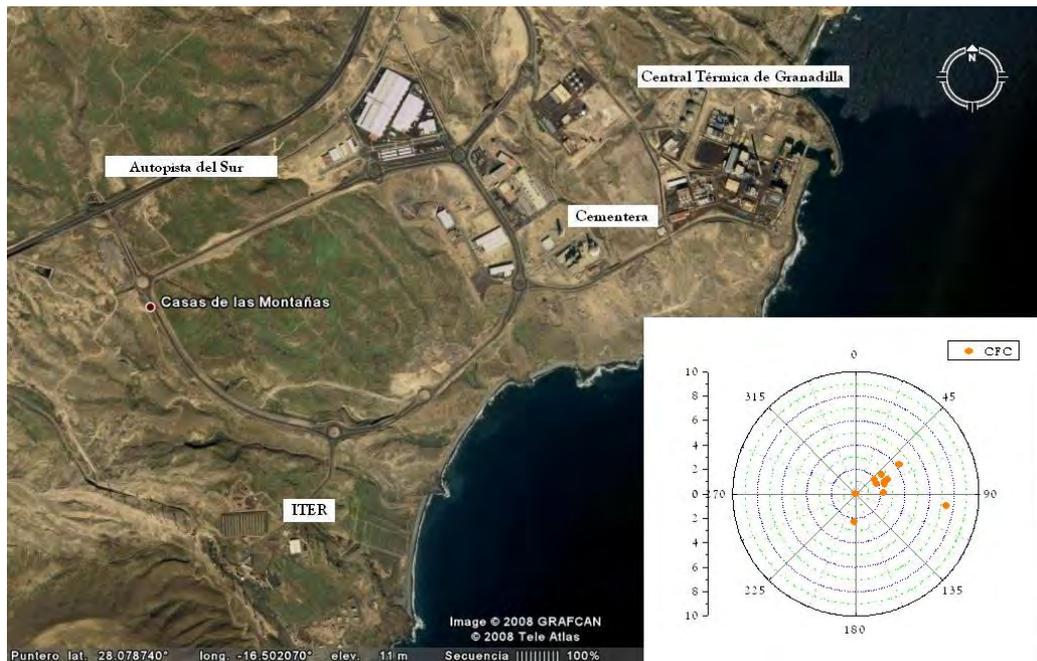


Figura 8.21.- Distribución de la concentración de CFC en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

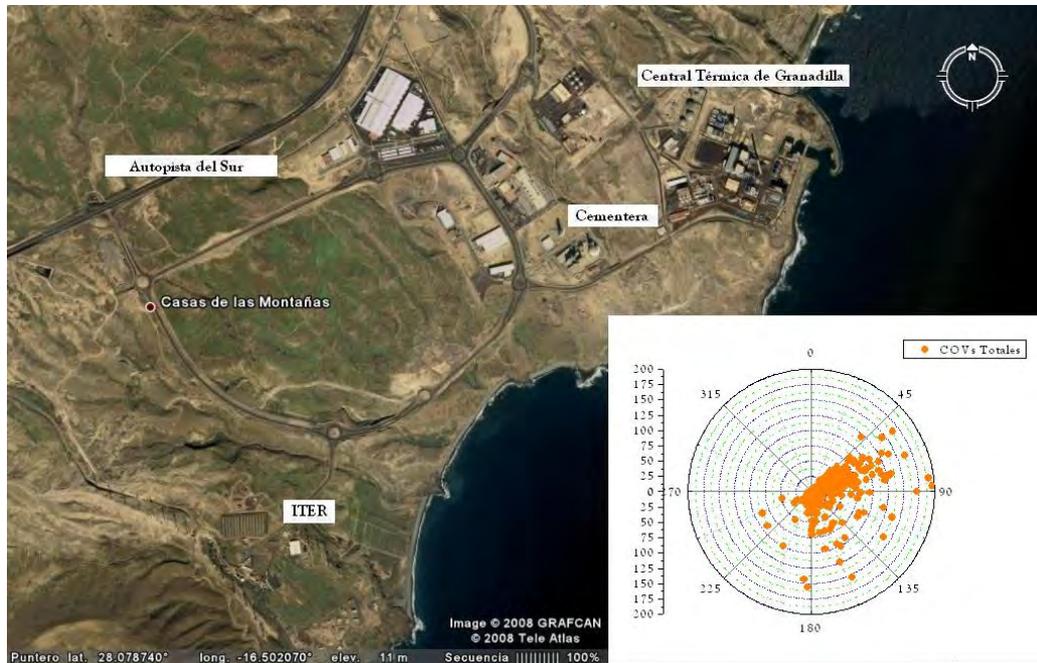


Figura 8.22.- Distribución de la concentración de COVs totales en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el desarrollo de esta tesis doctoral en el Polígono Industrial de Granadilla.

Únicamente se observan ciertas diferencias en las Figuras 8.20 y 8.21. Respecto a la Figura 20, en la que se representan los niveles de concentración de hidrocarburos halogenados frente a la dirección del viento, se observa una dirección predominante, noreste con dirección noreste-este, posiblemente debido a dos posibles fuentes, la Central Térmica de Granadilla y el spray marino. La dirección suroeste aparece bastante acentuada indicando como posibles fuentes de hidrocarburos halogenados productos fitosanitarios utilizados en los invernaderos del sur de la isla o la quema de queroseno proveniente de las aeronaves del aeropuerto Reina Sofía. En la Figura 8.21 la principal dirección de origen de CFC es la noreste-este existiendo al igual que para los hidrocarburos halogenados dos posibles fuentes combinadas la Central Térmica de Caletillas y el spray marino. La Tabla 8.6 muestra los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera del valle de la Orotava durante el desarrollo de esta tesis doctoral.

Se puede apreciar como es durante el periodo de estudio 2006 donde encontramos los mayores niveles de inmisión de benceno ($3,57 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), etilbenceno ($6,40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), m+p xileno ($8,80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), o-xileno ($8,39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), BTEX ($65,34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), radicales bencénicos ($28,32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), hidrocarburos aromáticos no halogenados ($86,14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), y COVs totales ($94,40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Los mayores niveles de inmisión de tolueno ($84,80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se registraron en el año 2003, mientras que los mayores niveles de inmisión de hidrocarburos halogenados ($16,96 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y CFC ($8,49 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) fueron detectados durante el periodo 2005, respectivamente. Los niveles de inmisión de benceno en el valle de la Orotava nunca han superado el valor límite horario de benceno en la baja troposfera para la protección de la salud humana establecido por directiva 2000/69/CE en $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1atm, 20°C).

Tabla 8.6. Valores promedios de concentración de COVs en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en el ambiente urbano de la Orotava, Tenerife, durante los diferentes periodos de estudios.

Compuestos	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Benceno	1,41	0,74	2,13	3,57	1,59	3,28
Tolueno	84,80	20,50	20,69	30,23	29,76	10,93
Etilbenceno	3,89	5,06	4,59	6,40	4,33	2,54
m+p xileno	3,00	4,34	5,81	8,80	4,72	5,43
o-xileno	1,88	2,09	3,65	8,39	2,94	3,05
BTEX	64,65	32,74	36,85	65,34	38,46	25,23
Radicales bencénicos	12,55	13,42	14,09	28,32	13,79	15,92
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	69,83	40,11	45,27	86,14	46,72	36,44
Hidrocarburos halogenados	10,32	2,02	16,96	8,27	9,91	4,37
CFC	0,08	0,00	8,49	0,00	1,95	0,18
COVs totales	81,12	42,21	62,26	94,40	56,82	41,47

Con el objeto de representar gráficamente los niveles de inmisión de los diferentes COVs estudiados durante las distintas etapas de estudio, en las Figuras 8.23, 8.24, 8.25, 8.26, 8.27, 8.28, 8.29, 8.30, 8.31, 8.32 y 8.33 se presentan los diagramas de barras de cada COVs no metanizado. Observando los diferentes diagramas de barras para los distintos COVs estudiados se puede apreciar claramente como ha sido el periodo de estudio 2005/06 y en algunos casos el periodo 2003/04 donde se han registrado los mayores niveles de inmisión de COVs en la atmosfera del valle de la Orotava.

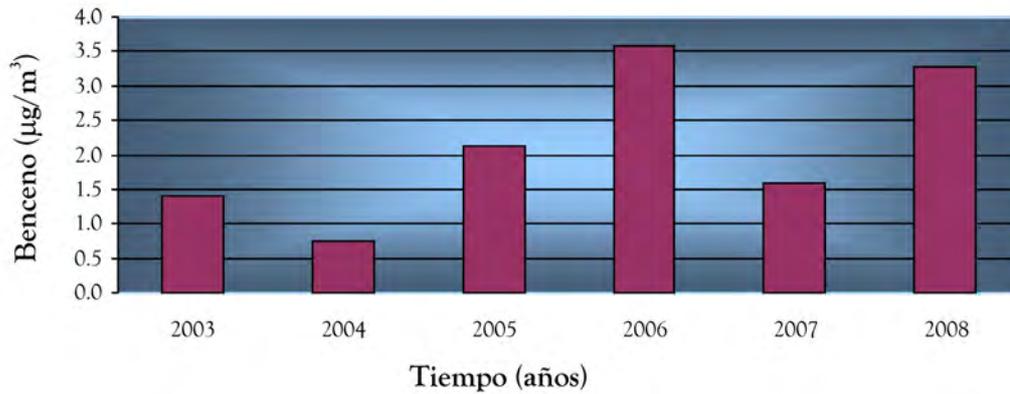


Figura 8.23.- Distribución temporal de benceno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

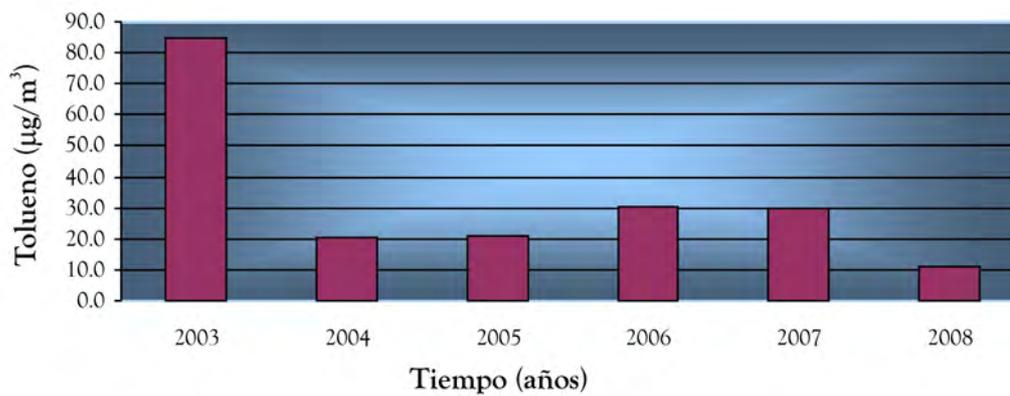


Figura 8.24.- Distribución temporal de tolueno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

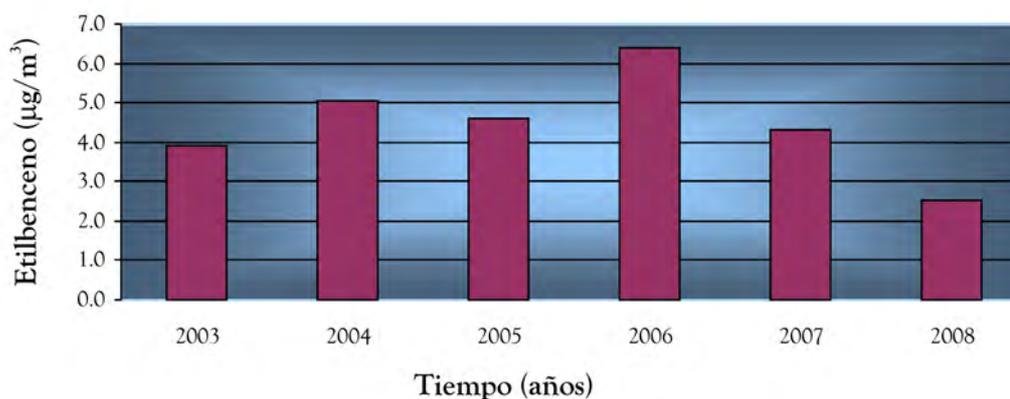


Figura 8.25.- Distribución temporal de etilbenceno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

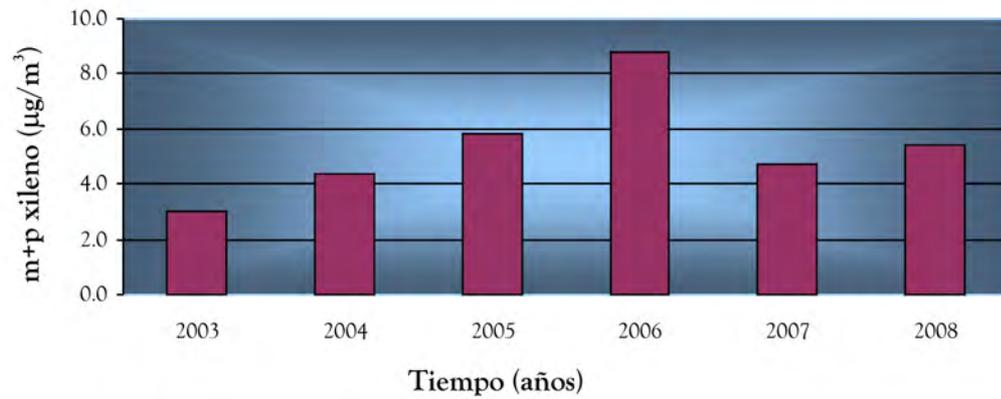


Figura 8.26.- Distribución temporal de m+p xileno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

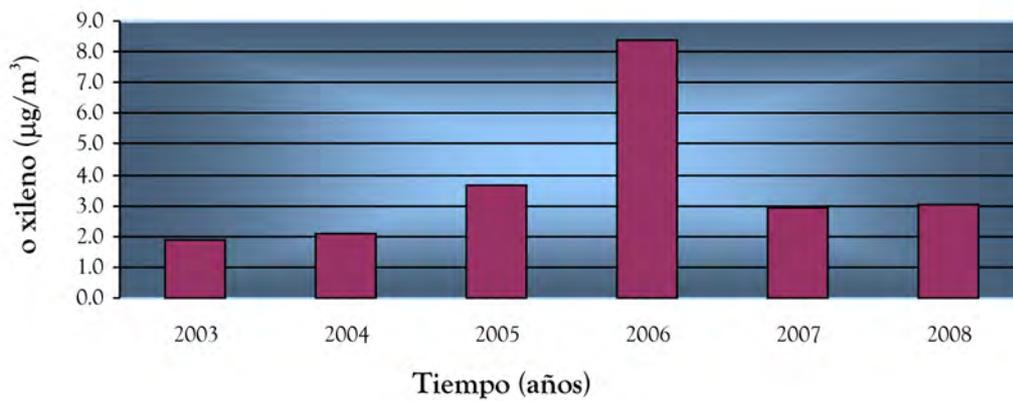


Figura 8.27.- Distribución temporal de o-xileno en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

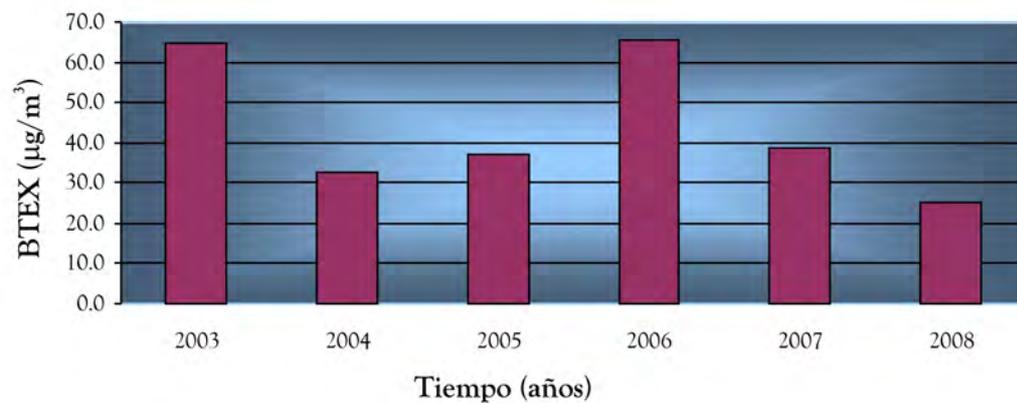


Figura 8.28.- Distribución temporal de BTEX en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

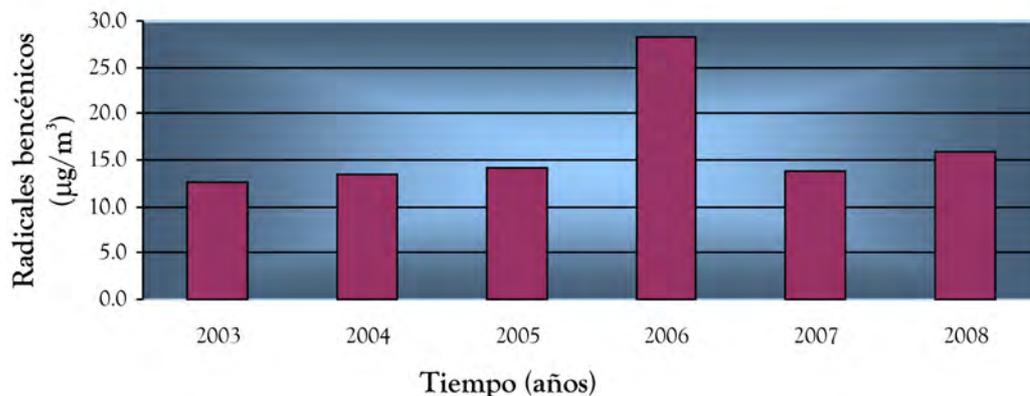


Figura 8.29.- Distribución temporal de radicales bencénicos en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

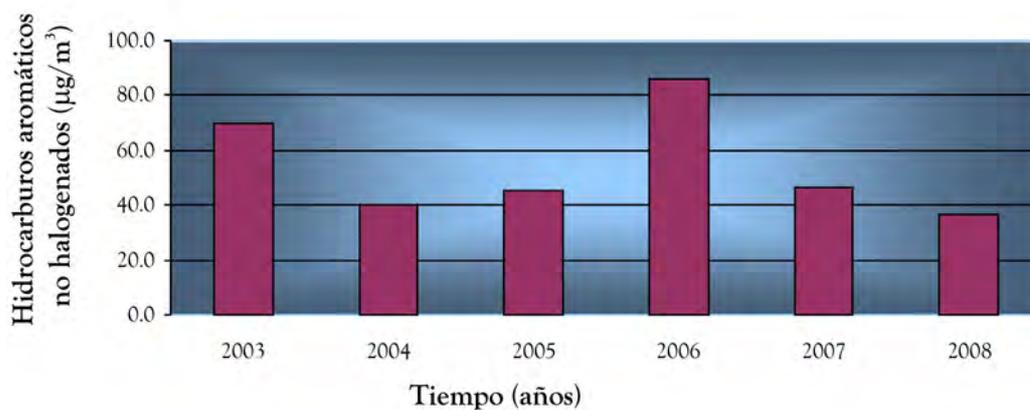


Figura 8.30.- Distribución temporal de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

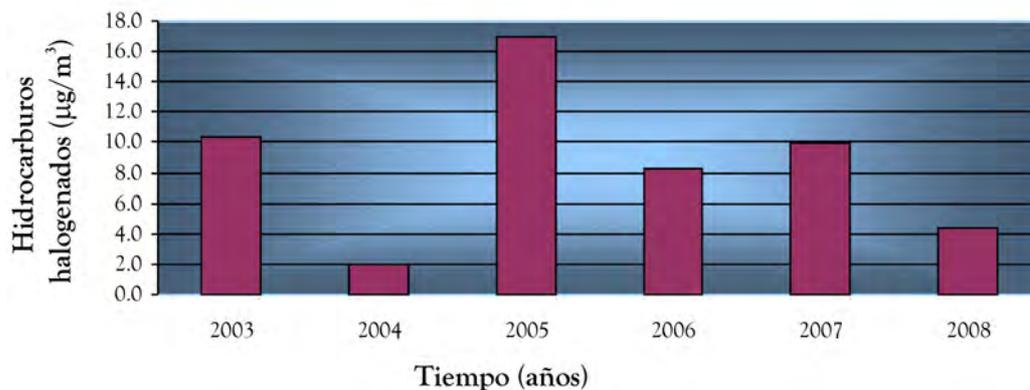


Figura 8.31.- Distribución temporal de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

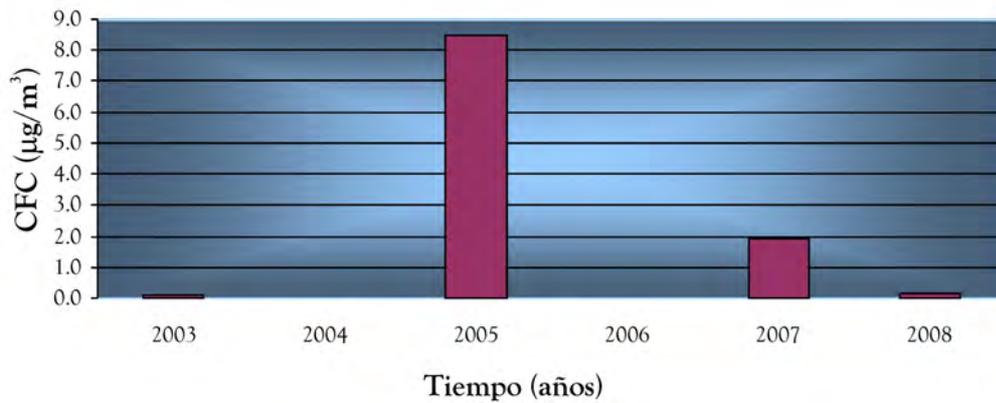


Figura 8.32.- Distribución temporal de CFC en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

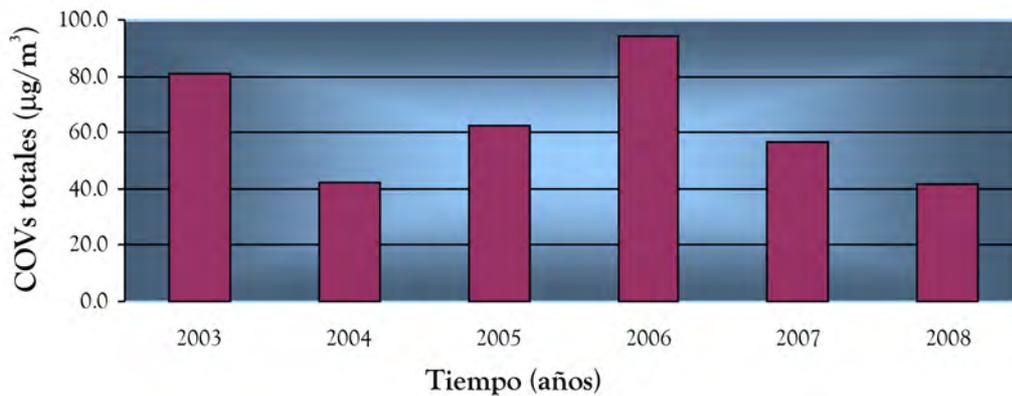


Figura 8.33.- Distribución temporal de COVs totales en las diferentes etapas de estudio en el valle de la Orotava, Tenerife.

Podemos observar en las Figuras 8.34, 8.35, 8.36, 8.37, 8.38, 8.39, 8.40 y 8.41 la distribución espacial de COVs con respecto a la velocidad del viento, existente en el valle de la Orotava desde 2003 a 2008. Los datos meteorológicos utilizados han sido facilitados por la Asociación Canaria de Meteorología (ACANMET) gracias a las estaciones meteorológicas que tienen instaladas varios de sus miembros en el valle de la Orotava. Como hemos comentado anteriormente los datos de concentración de COVs se representan en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. La toma de muestra en el valle de la Orotava ha sido tomada en la zona conocida como La Aomada, Puerto de la Cruz. Esta zona está situada en las cercanías de la Autopista del norte, TF5 y muy próxima a zonas agrícolas, plantaciones de plataneras del norte de la isla. En las figuras 8.34, 8.35, 8.36, 8.37, 8.38, 8.39 y

8.41 podemos observar los niveles de concentración de benceno, Xilenos, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados y COVs totales con respecto a la dirección del viento. Si observamos los diagramas polares que aparecen en estas figuras no parecen estar claras las fuentes de COVs no metanizados que afectan a este punto de observación. Las fuentes de contaminación pueden ser varias, la autopista que encontramos tan cerca (dirección sur-sureste), las plantaciones de platanera que existen en sus inmediaciones (dirección oeste-noroeste), el tráfico urbano que existe en dicha ciudad turística (dirección noreste), tráfico urbano que accede hacia el barrio e la montaña en los Realejos (dirección suroeste) el spray marino que llega desde la costa (dirección norte-noroeste), etc.

En la Figura 8.40 podemos observar los niveles de concentración de CFC con respecto a la dirección del viento. Es en este punto de estudio del valle de la Orotava donde hemos localizados los mayores niveles de concentración de CFC en las tres áreas de estudio (Santa Cruz de Tenerife, Polígono Industrial de Granadilla y valle de la Orotava). Si observamos el diagrama polar de la Figura 8.40 observamos como la principal dirección desde donde provienen los CFC es la dirección suroeste, es en esta dirección donde encontramos el mayor nivel de concentración de CFC. La posible fuente de contaminación desde esta dirección esta claramente asociada a la intensa actividad vehicular existente en los alrededores de dicha área de estudio. Estos altos niveles de CFC pueden provenir tanto de la Autopista del Norte, TF5 como del tráfico que accede a la zona urbana de los Realejos.

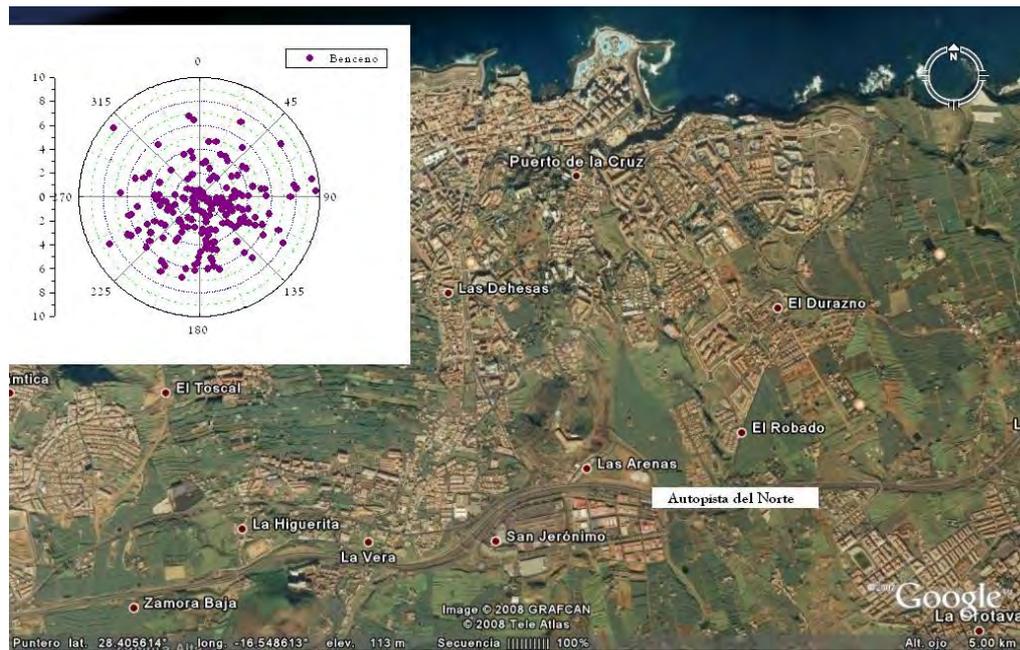


Figura 8.34.- Concentración de benceno en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

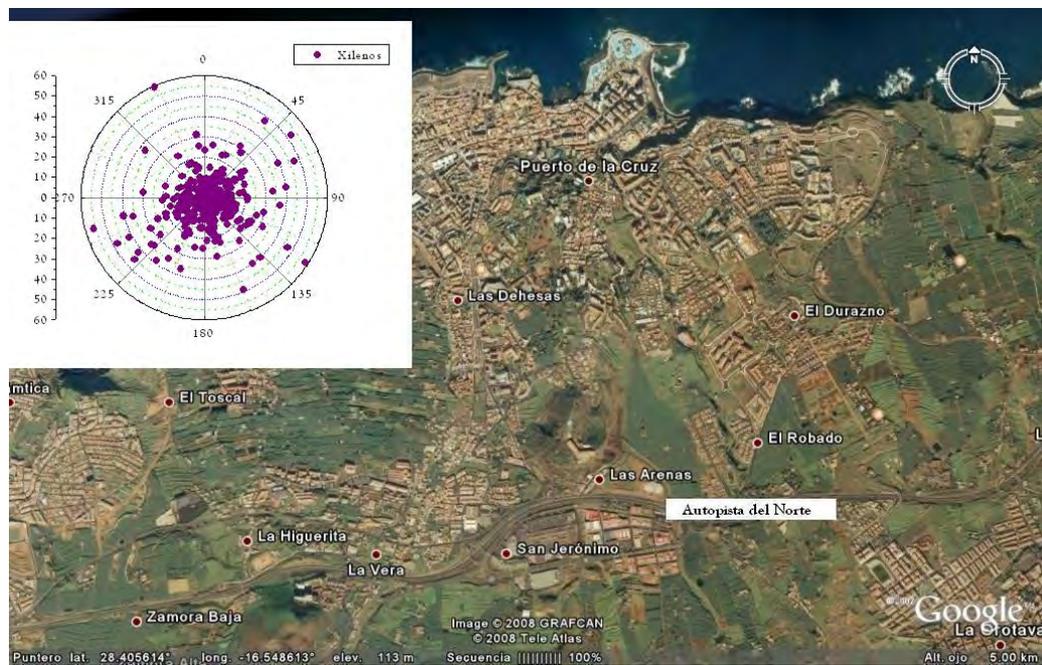


Figura 8.35.- Concentración de Xilenos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

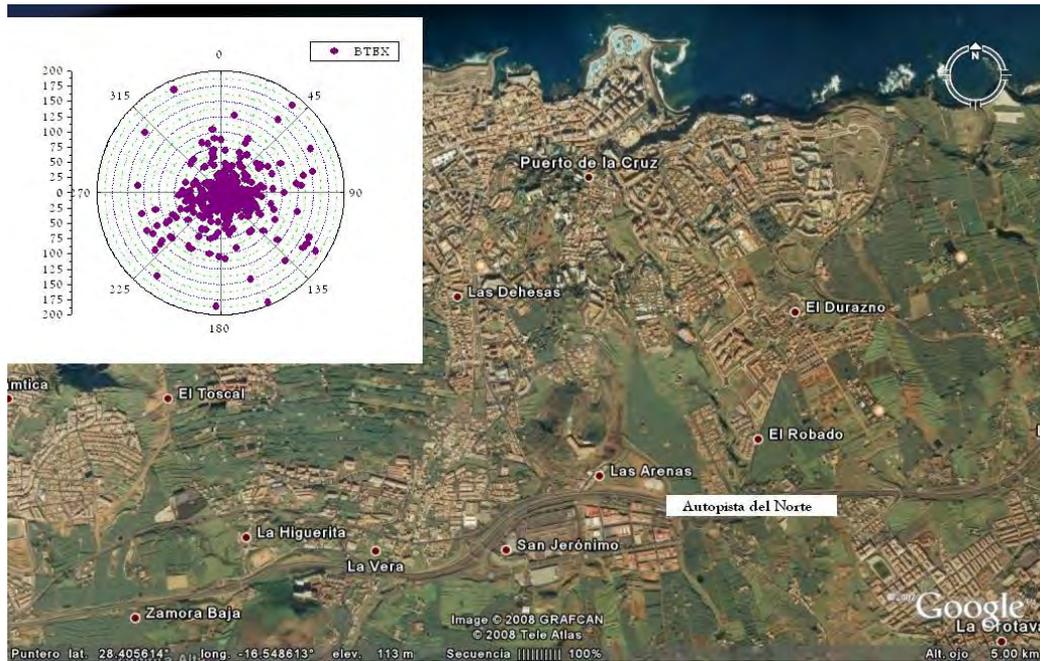


Figura 8.36.- Concentración de BTEX en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

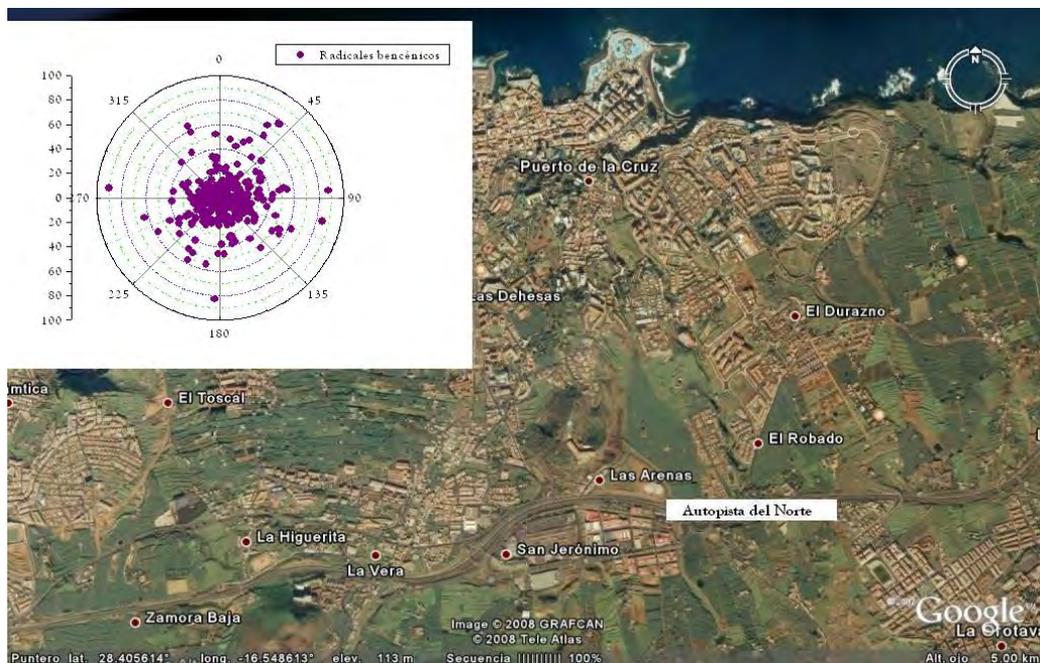


Figura 8.37.- Concentración de Radicales bencénicos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

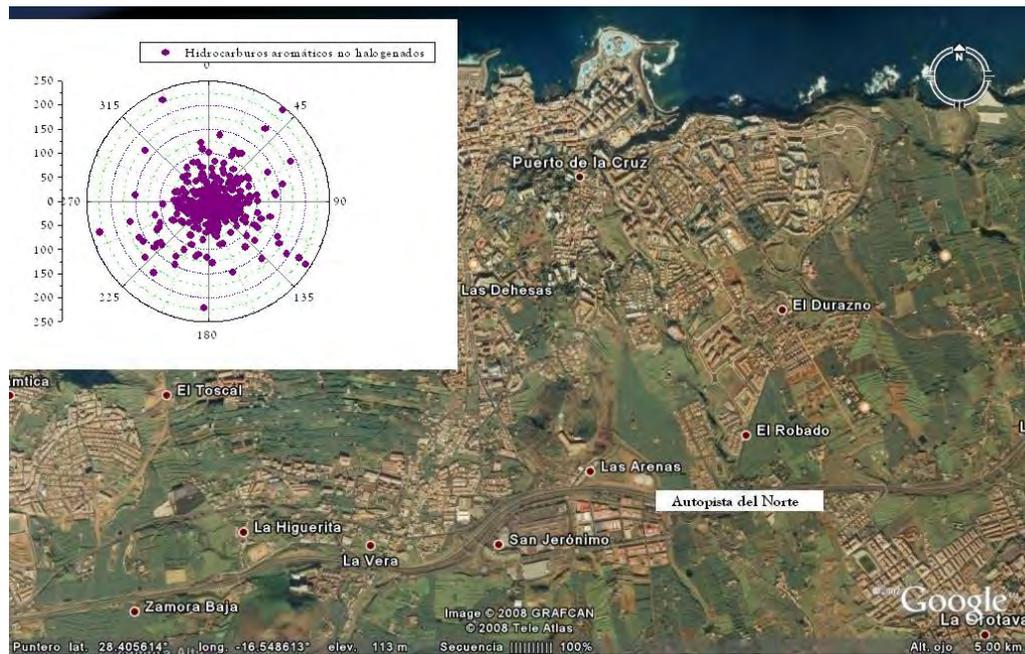


Figura 8.38.- Concentración de Hidrocarburos aromáticos no halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

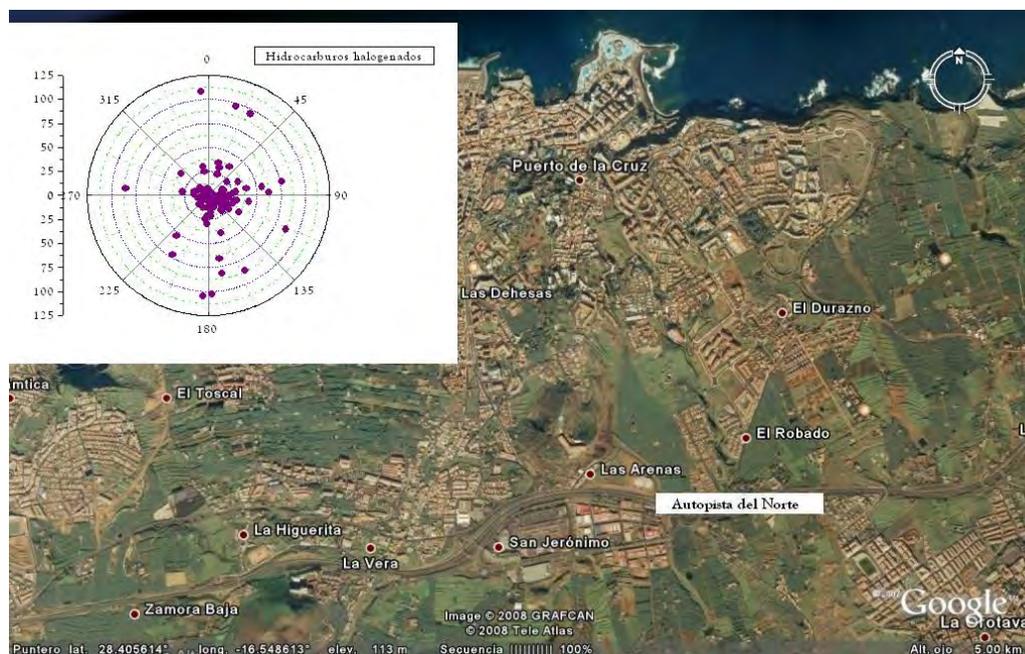


Figura 8.39.- Concentración de Hidrocarburos halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

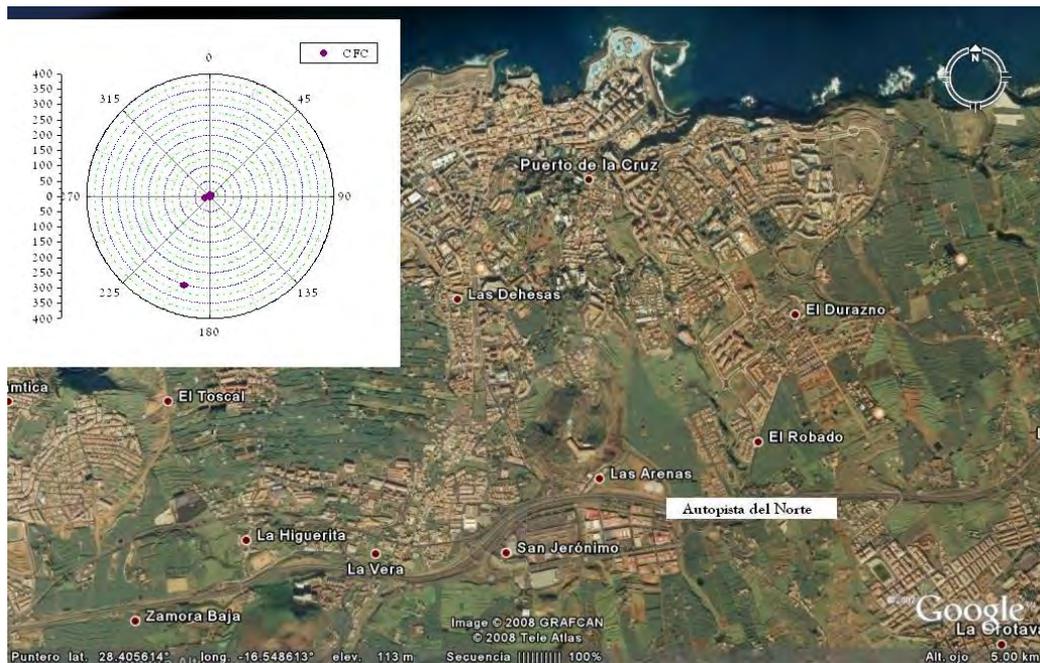


Figura 8.40.- Concentración de CFC en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

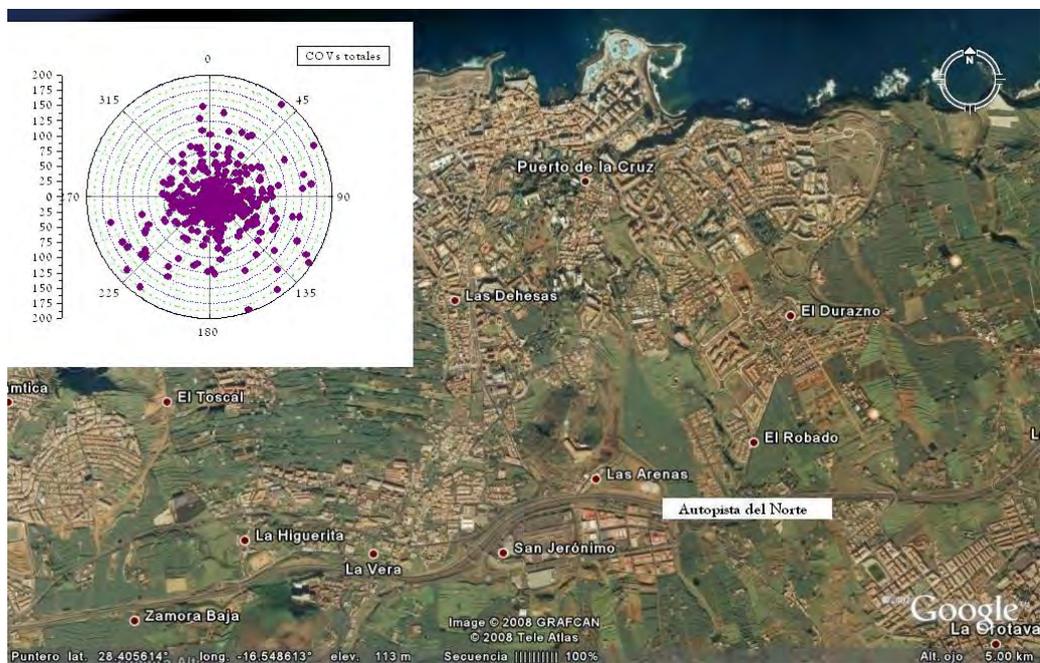


Figura 8.41.- Concentración de COVs totales en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento durante el estudio desarrollado en el valle de la Orotava.

Los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife durante el desarrollo de esta tesis doctoral (2003/2008) aparecen reflejados en la Tabla 8.7. Sin duda es el periodo de estudio 2003 donde se han detectado los mayores niveles de benceno ($11,11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), tolueno ($101,63 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), etilbenceno ($9,66 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), m+p xileno ($11,34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), o-xileno ($7,50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), BTEX ($98,21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), Radicales bencénicos ($23,21 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), hidrocarburos aromáticos no halogenados ($109,08 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), CFC ($0,90 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y COVs totales ($121,62 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) en la atmósfera de dicha ciudad.

Tabla 8.7. Valores promedio de concentración de COVs en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en el ambiente urbano-industrial de Santa Cruz durante los diferentes periodos de estudio.

Compuestos	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Benceno	11,11	4,11	4,76	4,96	5,48	1,44
Tolueno	101,63	38,04	25,12	26,78	65,86	10,58
Etilbenceno	9,66	9,04	5,41	5,50	7,10	2,42
m+p xileno	11,34	10,77	7,80	7,72	8,87	6,01
o-xileno	7,50	6,44	5,14	7,14	5,89	2,74
BTEX	98,21	62,38	47,76	50,17	81,93	23,20
Radicales bencénicos	23,21	22,17	17,06	21,68	18,13	12,46
Hidrocarburos aromáticos no halogenados	109,08	76,79	58,52	66,41	92,57	32,01
Hidrocarburos halogenados	11,89	1,70	1,54	13,68	5,67	2,99
CFC	0,90	0,00	0,00	0,26	0,26	0,13
COVs totales	121,62	78,49	60,06	80,09	98,39	35,16

Exceptuando a los hidrocarburos halogenados ($13,68 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) que presentan los mayores niveles de inmisión en la baja troposfera de Santa Cruz durante el año 2006. Los niveles de inmisión de benceno en la baja troposfera de Santa Cruz para los periodos de estudio 2003 y 2007, superan el valor límite horario de benceno en la atmósfera para la protección de la salud humana establecido por Directiva 2000/69/CE en $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (1atm, 20°C), que comenzará su aplicación en 2010.

En las Figuras 8.42, 8.43, 8.44, 8.45, 8.46, 8.47, 8.48, 8.49, 8.50, 8.51 y 8.52 se representan los diagramas de barras de las concentraciones de cada COVs no metanizado estudiado en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

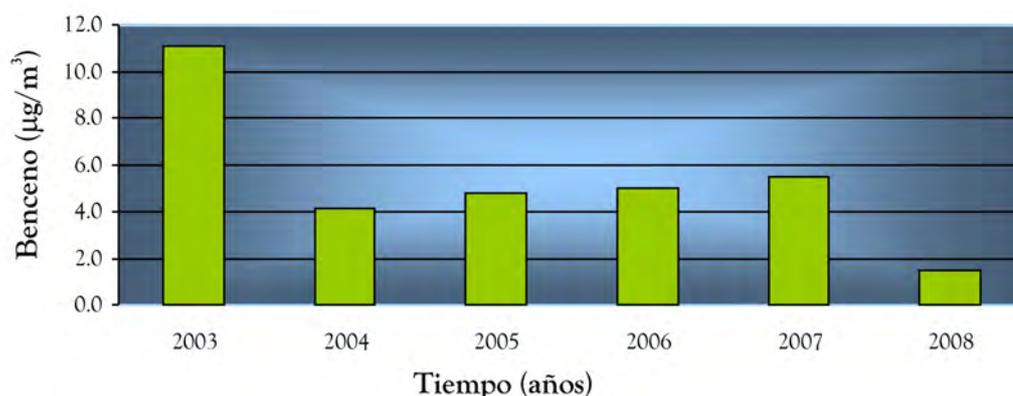


Figura 8.42.- Distribución temporal de benceno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

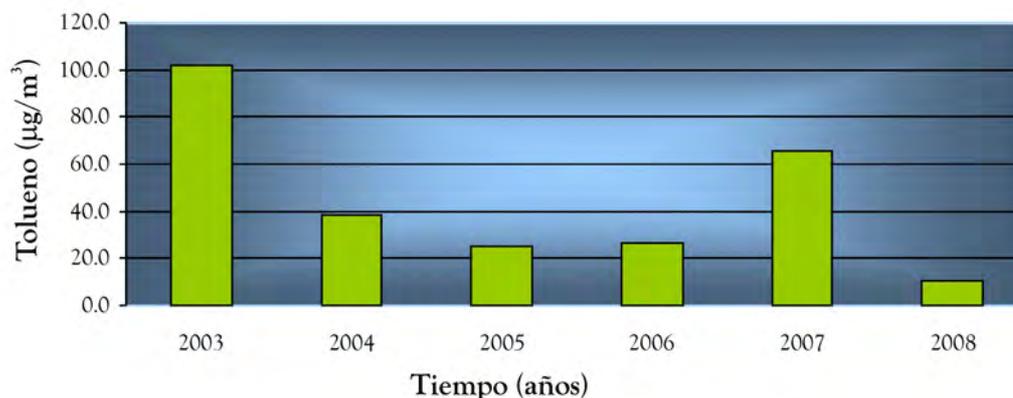


Figura 8.43.- Distribución temporal de tolueno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

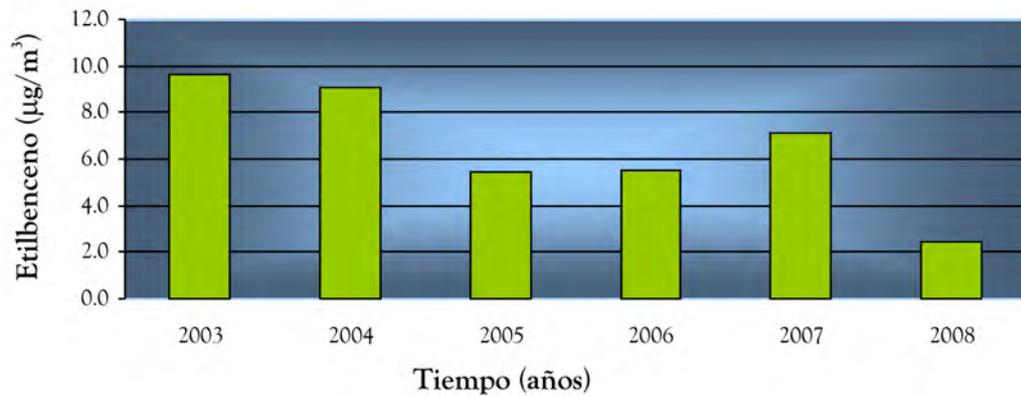


Figura 8.44.- Distribución temporal de etilbenceno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

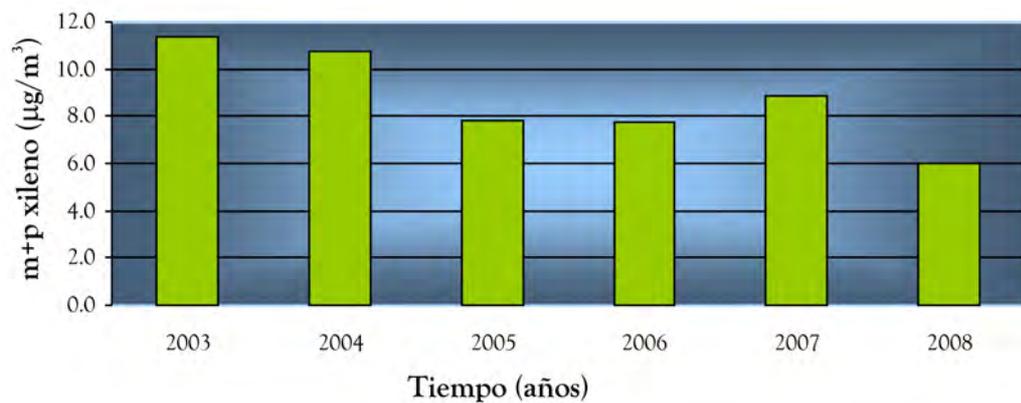


Figura 8.45.- Distribución temporal de m+p xileno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

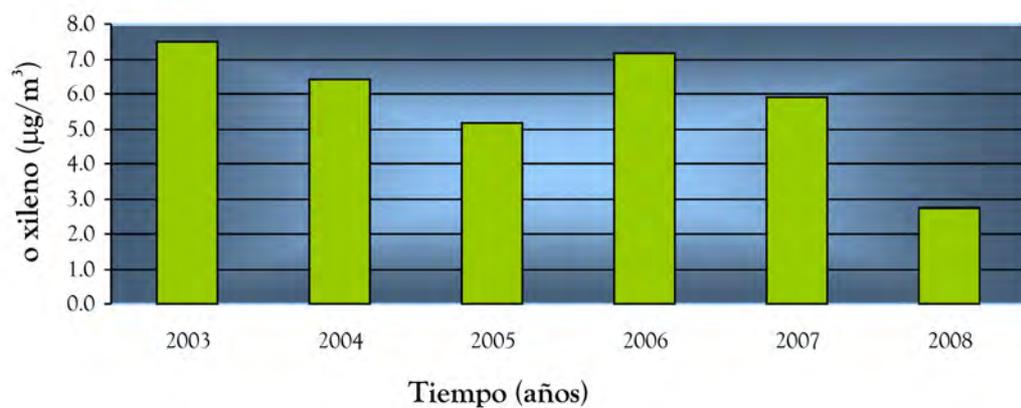


Figura 8.46.- Distribución temporal de o-xileno en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

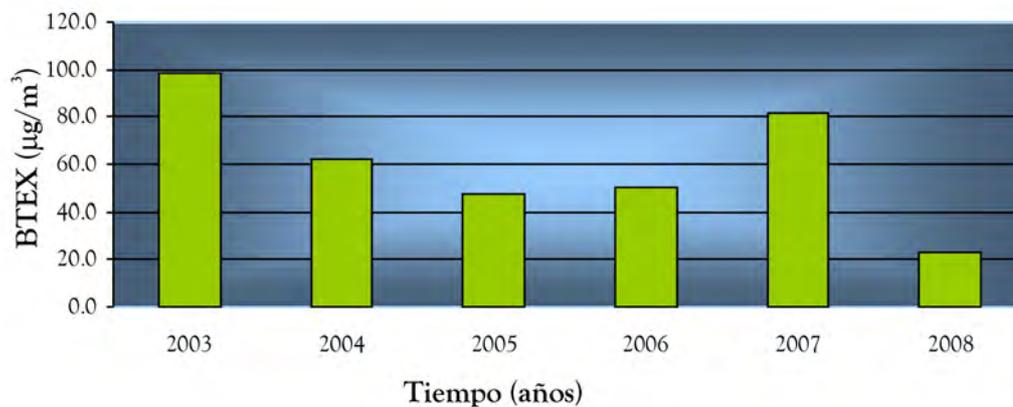


Figura 8.47.- Distribución temporal de BTEX en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

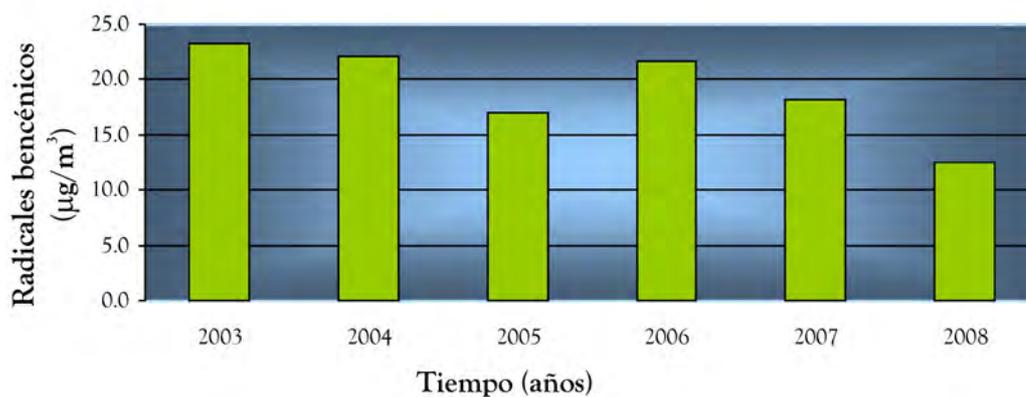


Figura 8.48.- Distribución temporal de radicales bencénicos en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

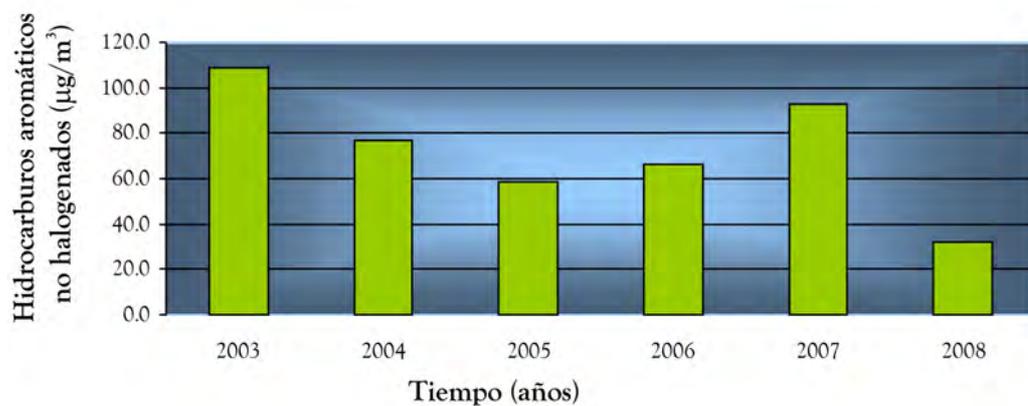


Figura 8.49.- Distribución temporal de hidrocarburos aromáticos no halogenados en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

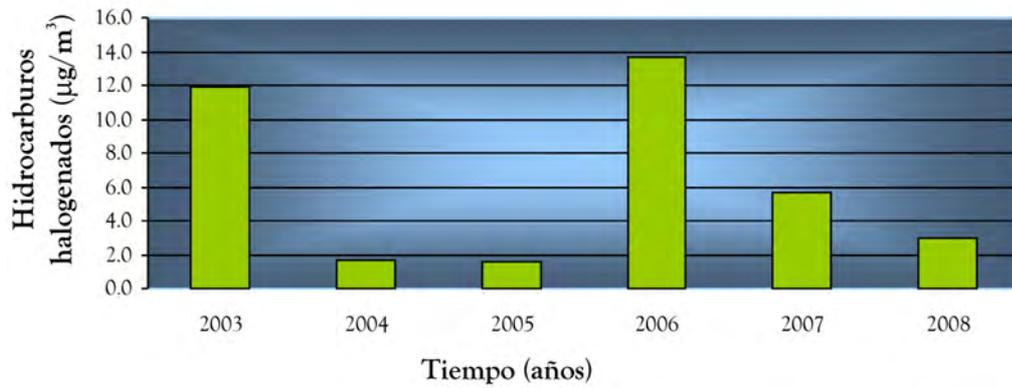


Figura 8.50.- Distribución temporal de hidrocarburos halogenados en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

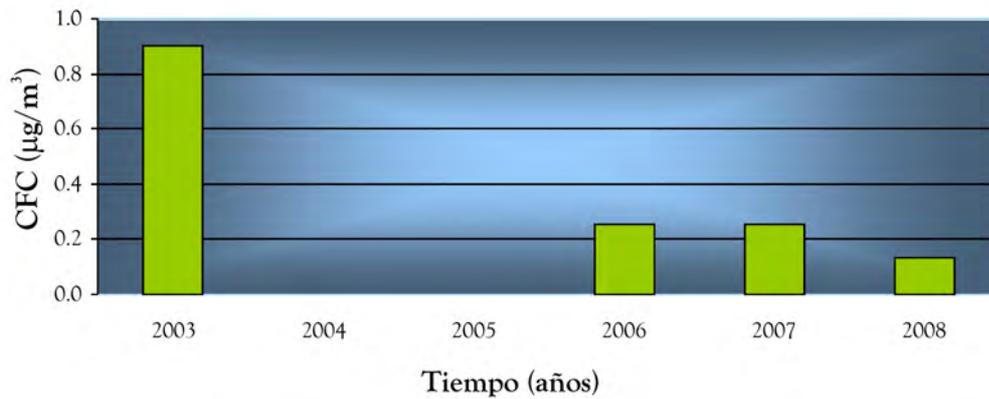


Figura 8.51.- Distribución temporal de CFC en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

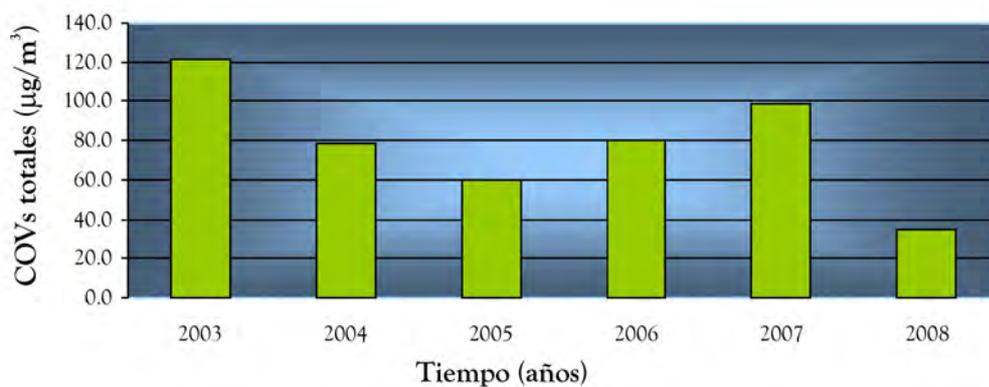


Figura 8.52.- Distribución temporal de COVs totales en las diferentes etapas de estudio en la baja troposfera de Santa Cruz de Tenerife.

En las Figuras 8.53, 8.54, 8.55, 8.56, 8.57, 8.58, 8.59 y 8.60 se representan los niveles de inmisión de COVs no metanizados en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la atmósfera del ambiente urbano-industrial de Santa Cruz con respecto a la dirección del viento durante los cinco años de estudio de esta tesis doctoral. Los datos meteorológicos utilizados han sido facilitados por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife, institución que tiene una estación meteorológica en el dique de los Llanos.

Como podemos observar en los diagramas polares de estas figuras, se aprecian cinco direcciones principales de contaminación en el entorno urbano-industrial de Santa Cruz. Estas direcciones son (1) dirección noreste, la contaminación procedente de esta orientación está estrechamente relacionada con el intenso tráfico procedente del centro de la ciudad y del intenso tráfico pesado que entra y sale del Puerto de Santa Cruz de Tenerife, (2) dirección sureste, la contaminación que la origina parece estar relacionada con las emisiones contaminantes procedentes del Palmetum, antiguo vertedero de Lazareto, (3) dirección en sentido sur que parece estar relacionada con las emisiones procedentes del mar, en este área encontramos el muelle de Honduras, el cual presenta un viaducto dedicado al trasvase de crudo hacia la refinería y a labores de abastecimiento de las diferentes naves que allí atracan.

En esta zona también se encuentran diferentes emisarios que desde las diferentes industrias vierten sus aguas residuales en esta área, (4) dirección suroeste, la contaminación procedente de esta dirección está relacionada con las emisiones contaminantes procedentes de la Refinería de Petróleos y de la vía de acceso desde la autopista del sur hacia la capital. Por último observamos una última dirección (5) en sentido oeste-noroeste cuyo origen claramente procede de la Refinería de Petróleos y de la Autopista del Norte, TF5. Estas cinco direcciones se observan en los gráficos polares que enfrentan la dirección del viento con respecto a los datos de concentración de benceno (Figura 8.53), Xilenos (Figura 8.54), BTEX (Figura 8.55), radicales bencénicos (Figura 8.56), hidrocarburos aromáticos no halogenados (Figura 8.57) y COVs totales (Figura

8.60). Solamente los hidrocarburos halogenados (Figura 8.58) parecen presentar dos principales direcciones de contaminación noreste y suroeste relacionadas ambas con el intenso tráfico procedente del centro de la ciudad, del tráfico pesado proveniente del Puerto de Santa Cruz, tráfico procedente de la vía de acceso desde la Autopista del sur y de la Refinería de Petróleo de Santa Cruz. Los CFC que apenas han sido observados en esta área de estudio no muestran una dirección que marquen claramente el origen de la fuente desde la que proceden (Figura 8.59).

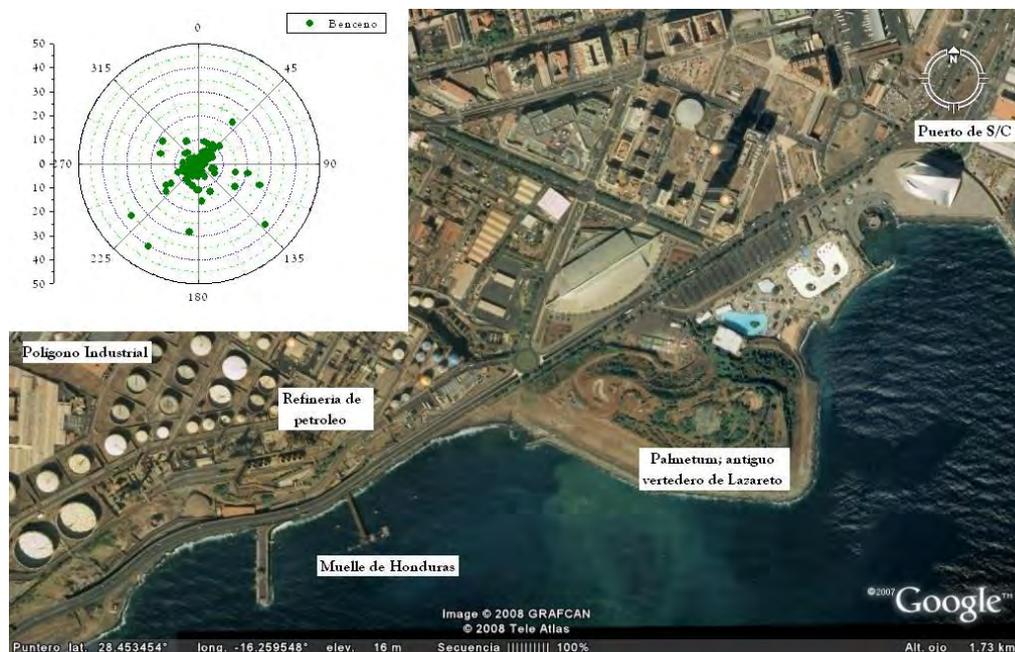


Figura 8.53.- Distribución espacial de la concentración de benceno en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

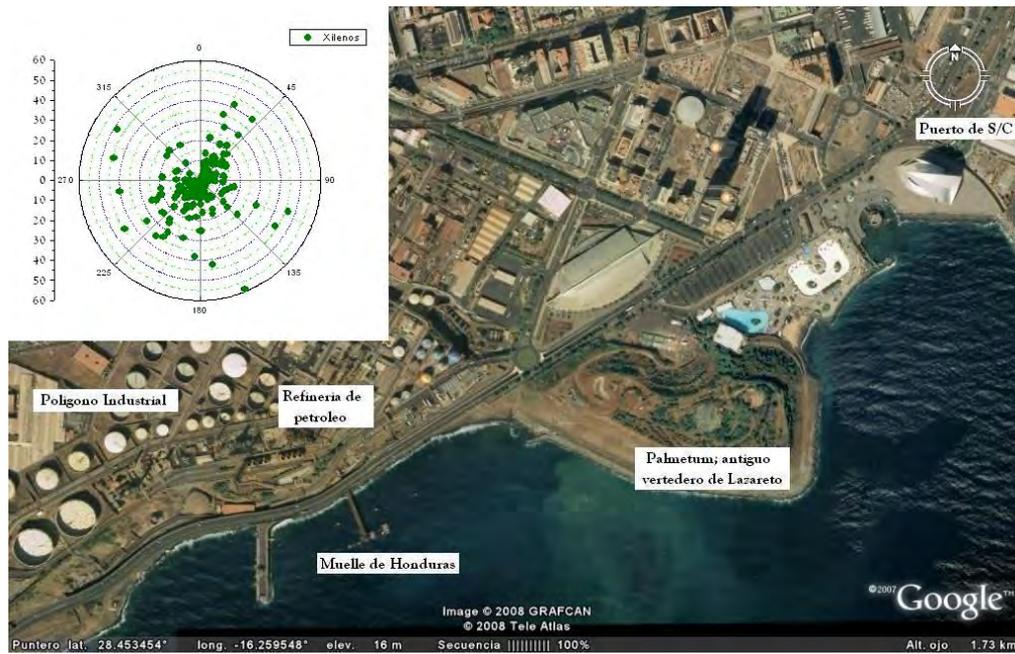


Figura 8.54.- Distribución espacial de la concentración de Xilenos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

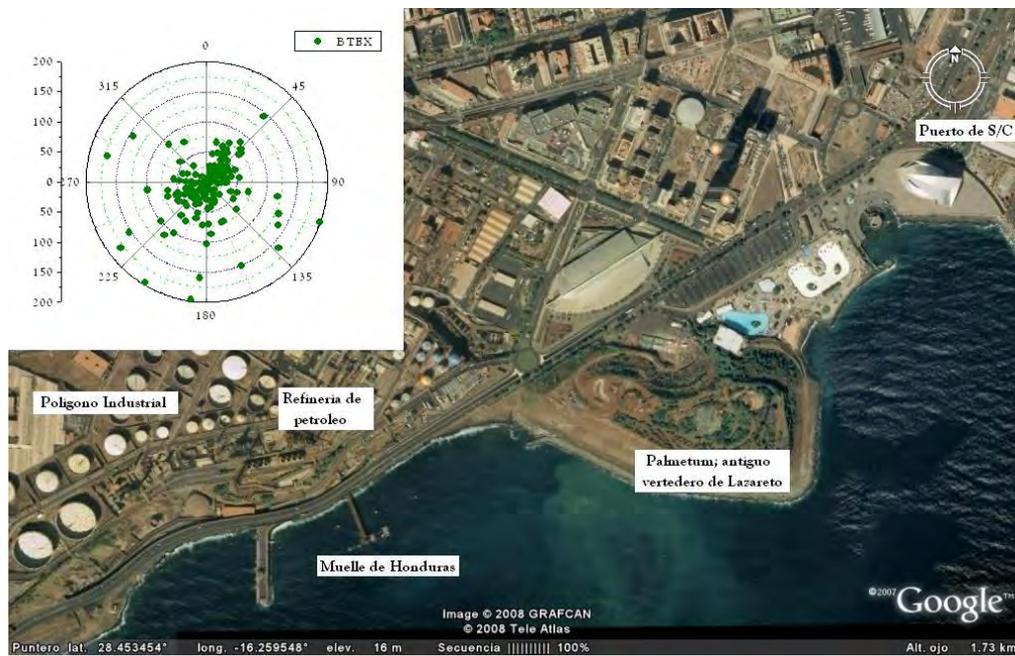


Figura 8.55.- Distribución espacial de la concentración de BTEX en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

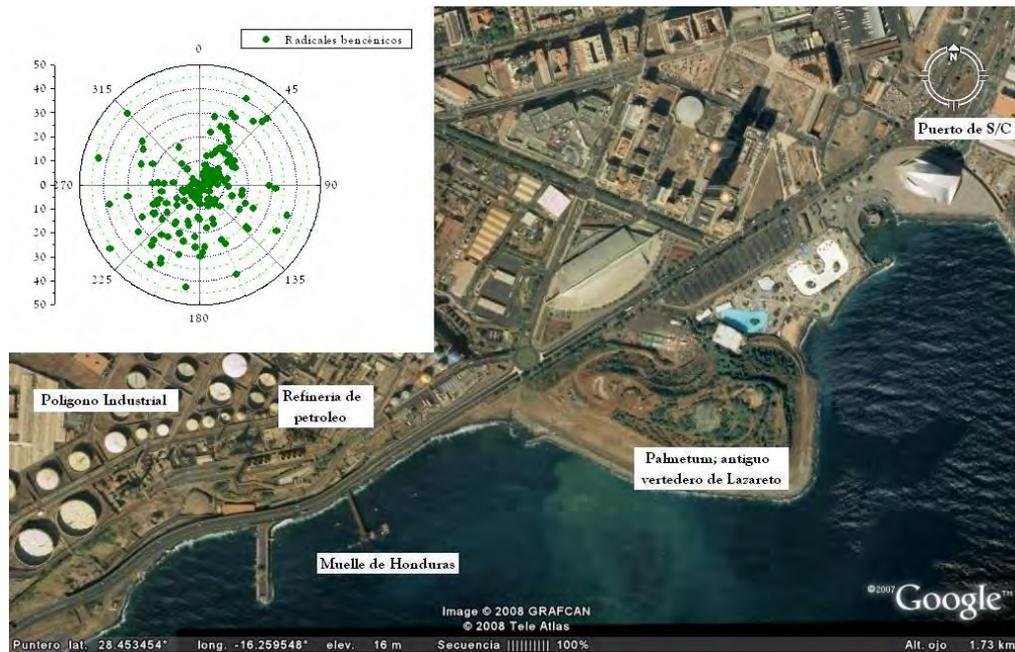


Figura 8.56.- Distribución espacial de la concentración de radicales bencénicos en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

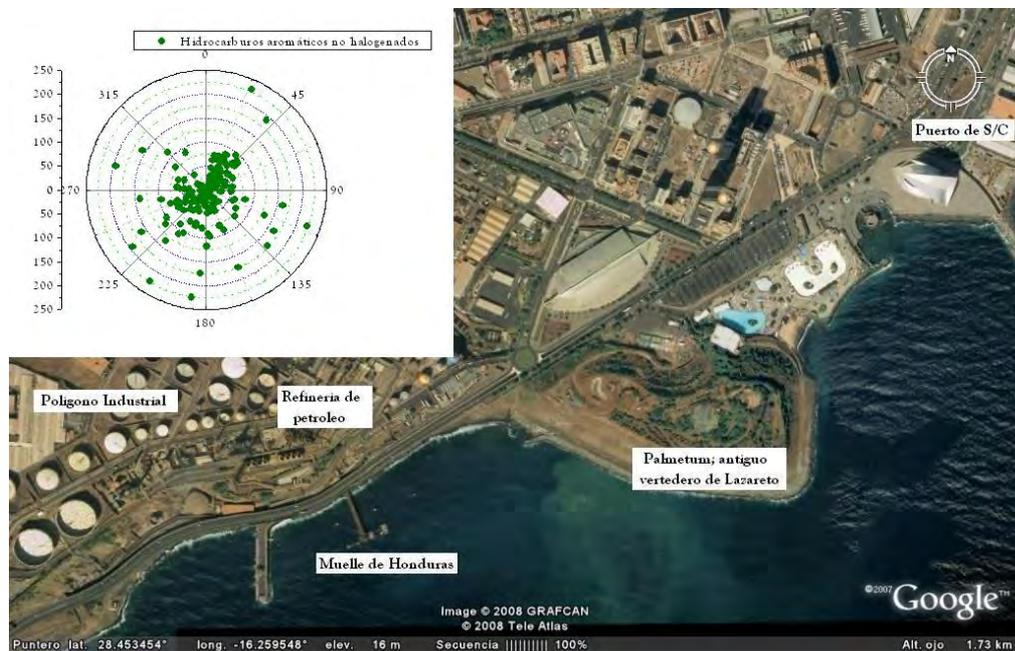


Figura 8.57.- Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos aromáticos no halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

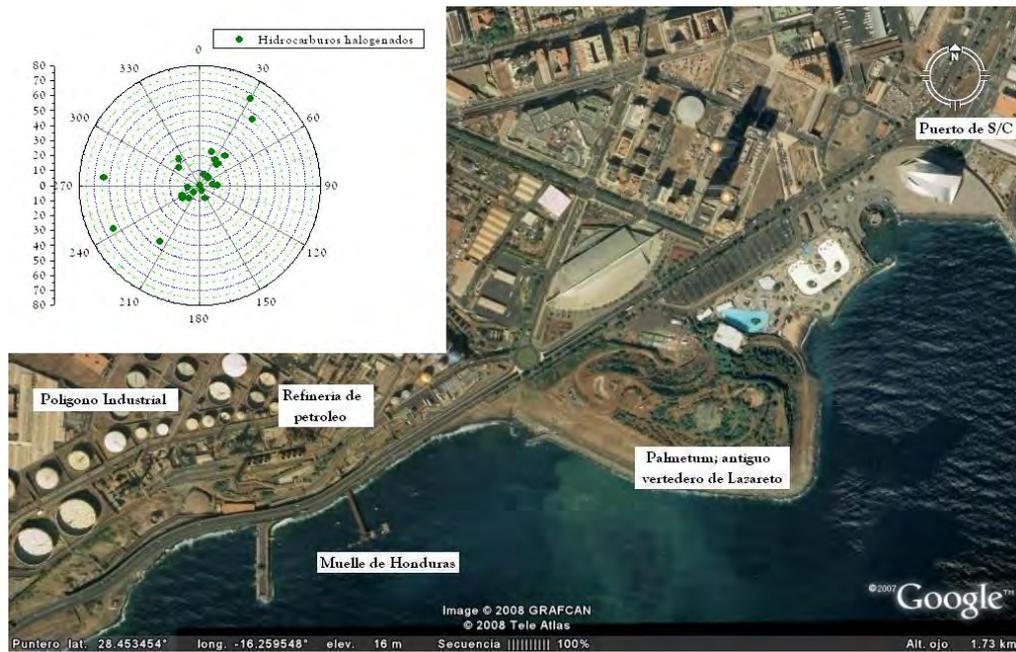


Figura 8.58.- Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos halogenados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

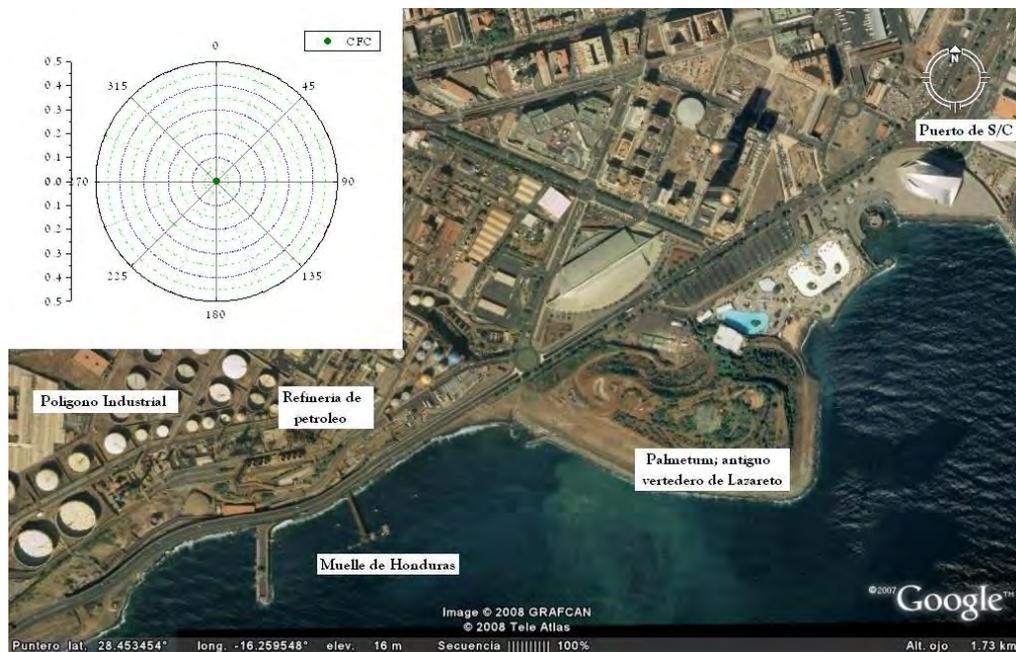


Figura 8.59.- Distribución espacial de la concentración de CFC en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

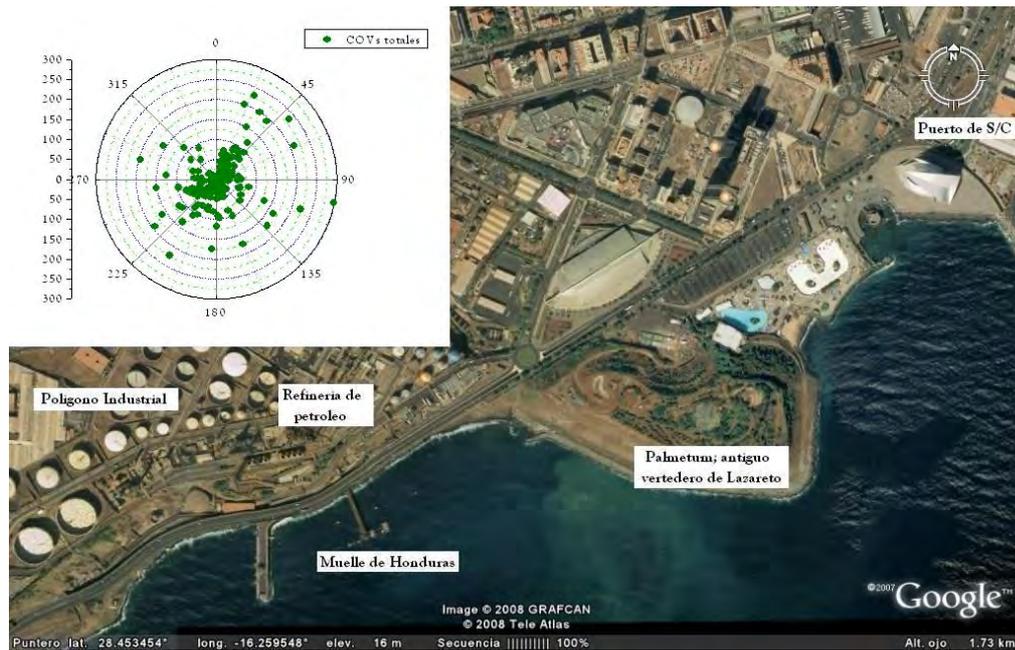


Figura 8.60.- Distribución espacial de la concentración de COVs totales en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ con respecto a la dirección del viento en S/C de Tenerife.

Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en la Tabla 8.8, donde se incluye un resumen estadístico de los años de registro de los valores de inmisión de COVs no metanizados medidos en los tres puntos de observación seleccionados en la isla de Tenerife. Los mayores niveles de inmisión de COVs en la baja troposfera de Tenerife han sido detectados en la atmósfera de Santa Cruz de Tenerife en el año 2003. En este punto de observación se han determinado las mayores concentraciones de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, BTEX, hidrocarburos aromáticos no halogenados y COVs totales. Por otro lado los mayores niveles de inmisión de o-xileno y radicales bencénicos han sido registrados en el año 2006 en la baja troposfera del valle de la Orotava. Los hidrocarburos halogenados y CFC han sido determinados en la baja troposfera del valle de la Orotava en mayores concentraciones en el año 2005.

Entre los diferentes COVs identificados y cuantificados hemos prestado especial atención al benceno por ser un agente peligroso para la salud al tener propiedades carcinógenas y tumorogénicas (Ames et al., 1975).

Tabla 8.8. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en diferentes puntos de observación de la isla de Tenerife; ambiente industrial de Granadilla, ambiente urbano del Valle de la Orotava y ambiente urbano-industrial de Santa Cruz durante el periodo de estudio.

Compuestos	ITIER								Valle de la Orotava								S/C de Tenerife							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2003	2004	2005	2006	2007	2008						
Benceno	0,3	0,1	0,6	0,9	0,7	1,3	1,4	0,7	2,1	3,6	1,6	3,3	11,1	4,1	4,8	5,0	5,5	1,4						
Tolueno	20,2	22,3	12,1	8,1	15,9	15,6	84,8	20,5	20,7	30,2	29,8	10,9	101,6	38,0	25,1	26,8	65,9	10,6						
Etilbenceno	3,5	4,3	2,8	1,7	3,3	3,0	3,9	5,1	4,6	6,4	4,3	2,5	9,7	9,0	5,4	5,5	7,1	2,4						
m+p xileno	2,1	3,3	3,6	2,6	2,9	6,6	3,0	4,3	5,8	8,8	4,7	5,4	11,3	10,8	7,8	7,7	8,9	6,0						
o-xileno	1,4	2,4	2,3	2,7	2,0	3,7	1,9	2,1	3,6	8,4	2,9	3,0	7,5	6,4	5,1	7,1	5,9	2,7						
BTEX	27,5	32,5	21,4	16,1	24,5	30,2	64,6	32,7	36,9	65,3	38,5	25,2	98,2	62,4	47,8	50,2	81,9	23,2						
Radicales bencénicos	12,4	19,4	9,8	7,2	12,0	12,8	12,6	13,4	14,1	28,3	13,8	15,9	23,2	22,2	17,1	21,7	18,1	12,5						
Hidrocarburos aromáticos no halogenados																								
Hidrocarburos halogenados	33,5	43,6	27,2	21,6	31,1	38,6	69,8	40,1	45,3	86,1	46,7	36,4	109,1	76,8	58,5	66,4	92,6	32,0						
CFC	9,2	10,8	3,6	8,9	8,0	4,8	10,3	2,0	17,0	8,3	9,9	4,4	11,9	1,7	1,5	13,7	5,7	3,0						
COV's totales	43,2	54,7	30,8	30,6	39,4	44,0	81,1	42,2	62,3	94,4	56,8	41,5	121,6	78,5	60,1	80,1	98,4	35,2						

Los mayores valores de concentración de benceno en la baja troposfera de Tenerife se han medido en la zona urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife con un valor promedio de $11,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en el año 2003. Estos valores han ido disminuyendo en los sucesivos años de estudio, actualmente ninguno de los tres puntos de observación sobre pasa el límite establecido por la actual legislación vigente.

En las Figuras 8.61, 8.62, 8.63, 8.64, 8.65, 8.66, 8.67, 8.68, 8.69 y 8.70 se muestra la evolución temporal de cada COVs no metanizado estudiado en estas tres áreas de estudio durante el desarrollo de esta Tesis doctoral. Aunque en este estudio se presenta la evolución temporal del tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, radicales bencénicos, hidrocarburos aromáticos no halogenados, hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales, prestaremos especial atención a la evolución temporal de benceno. En la Figura 8.61 se muestran las variaciones temporales de benceno en la baja troposfera de los tres puntos de observación de la isla de Tenerife. En la zona urbana industrial de Santa Cruz de Tenerife es donde se observan en un importante número de veces valores de inmisión de benceno superiores a $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, aunque sin embargo, se puede observar como ocasionalmente en el polígono industrial de Granadilla y en la zona urbana de la Orotava se detectan valores de benceno en la baja troposfera superiores al valor límite horario, muy probablemente como consecuencia de las condiciones meteorológicas, así como de la cantidad de tráfico existente en el momento de la toma de muestras.

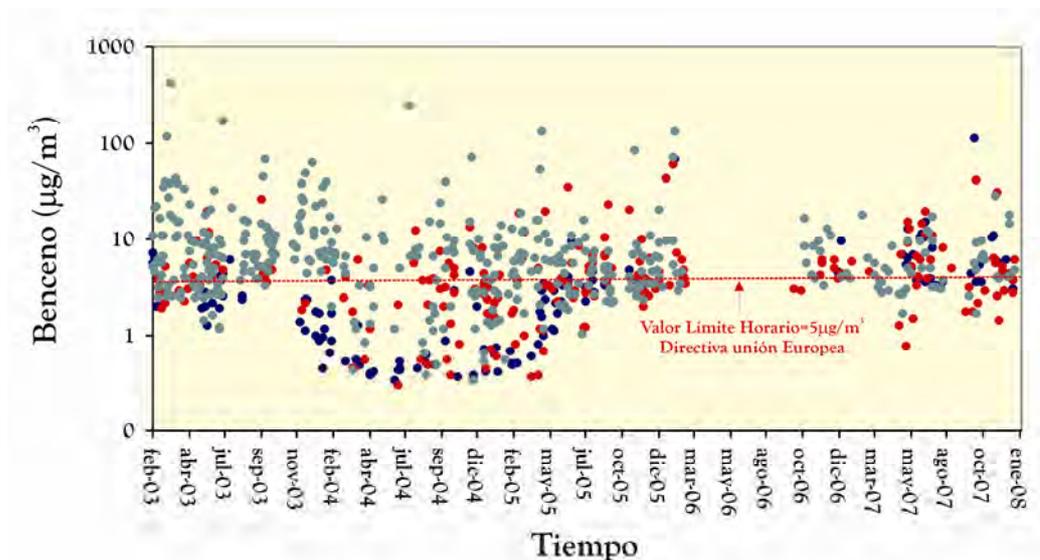


Figura 8.61.- Evolución temporal de la concentración de benceno en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

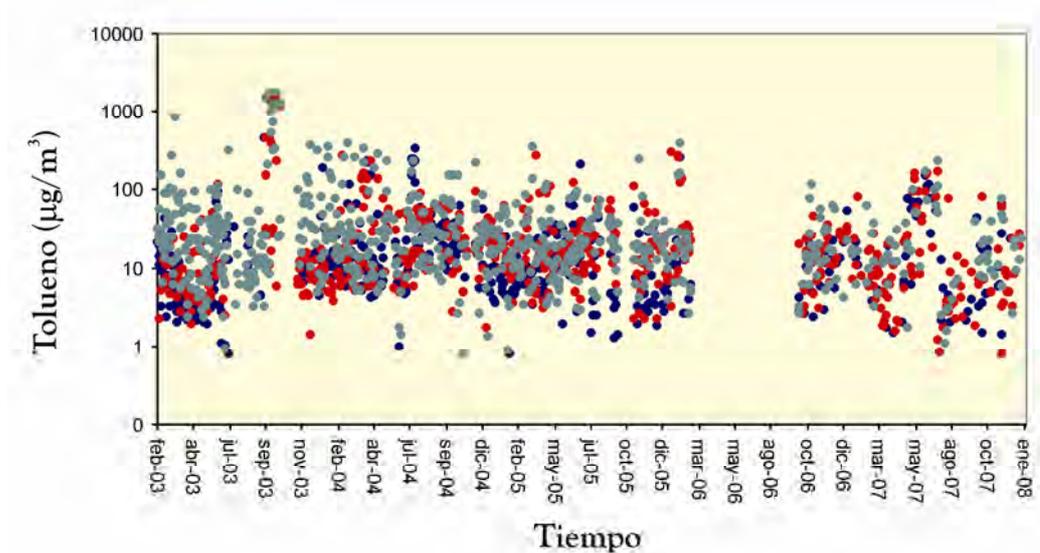


Figura 8.62.- Evolución temporal de la concentración de tolueno en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

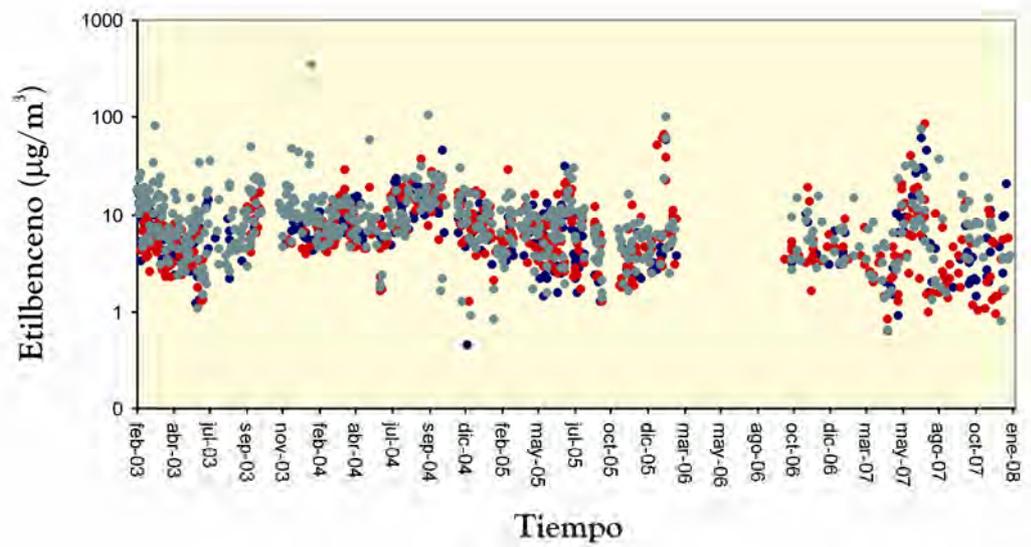


Figura 8.63.- Evolución temporal de la concentración de etilbenceno en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

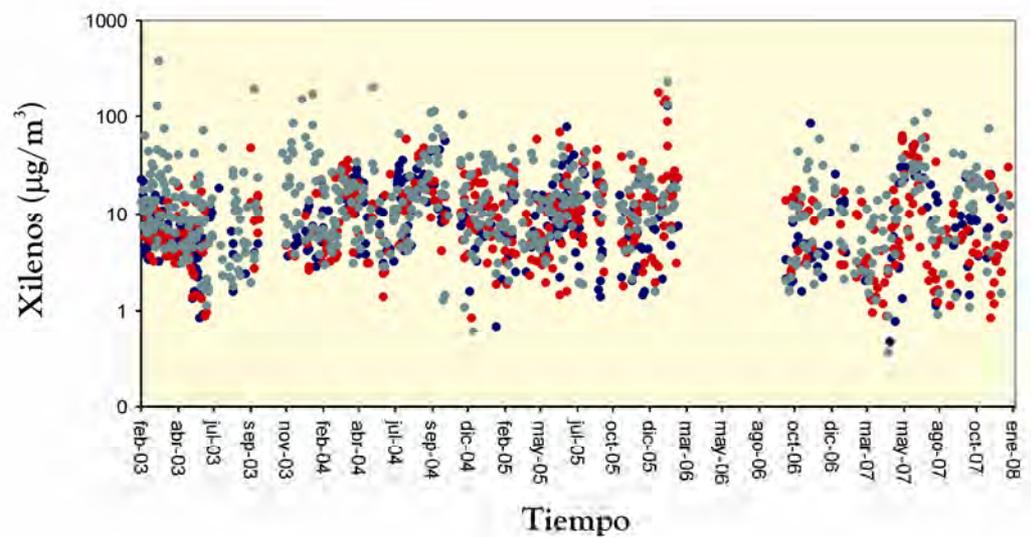


Figura 8.64.- Evolución temporal de la concentración de xilenos en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

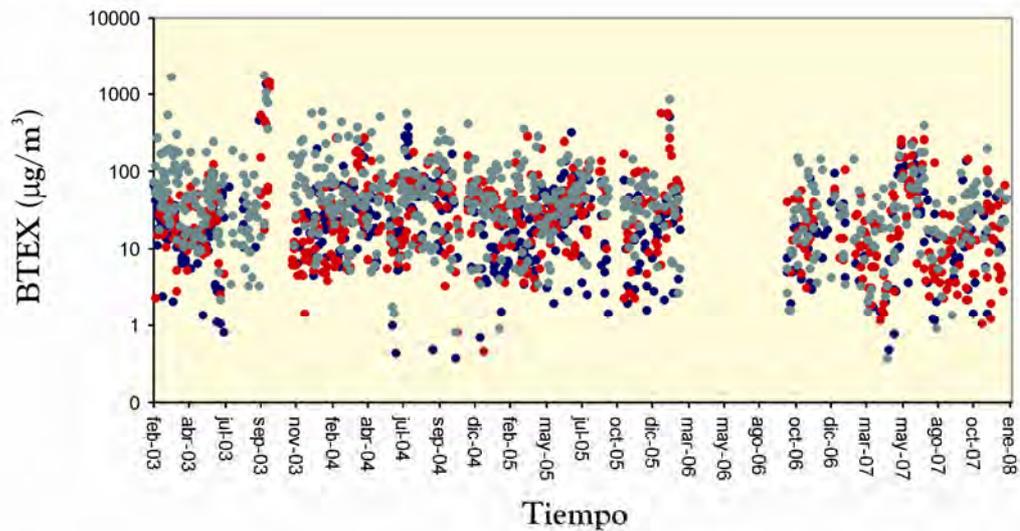


Figura 8.65.- Evolución temporal de la concentración de BTEX en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

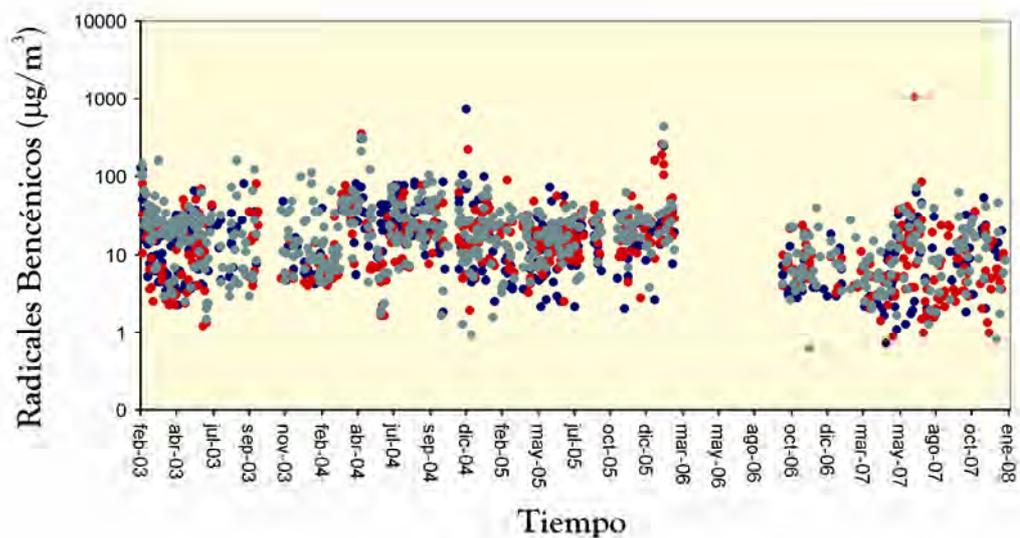


Figura 8.66.- Evolución temporal de la concentración de radicales bencénicos en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

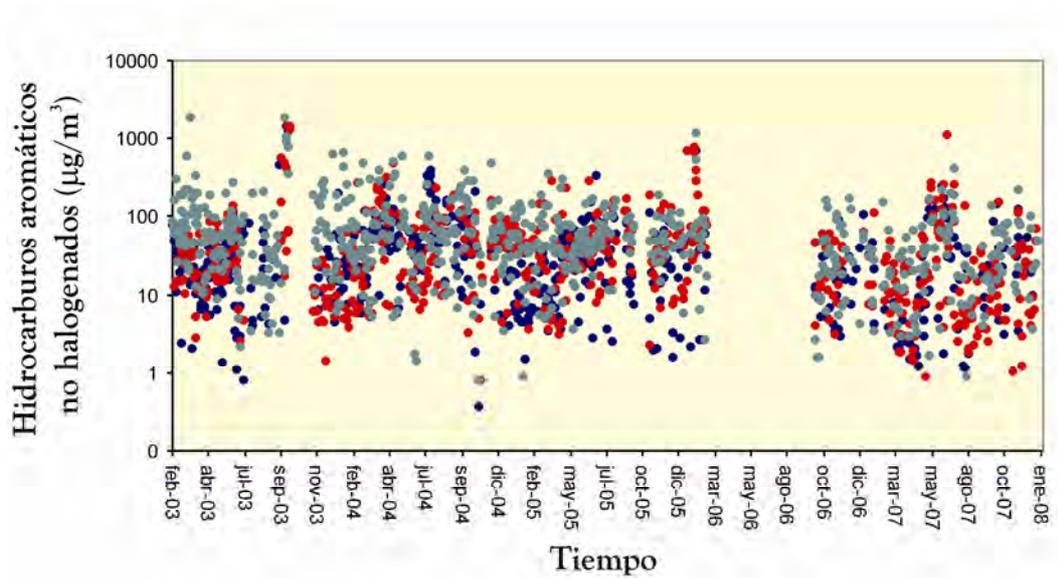


Figura 8.67.- Evolución temporal de la concentración de hidrocarburos aromáticos no halogenados en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

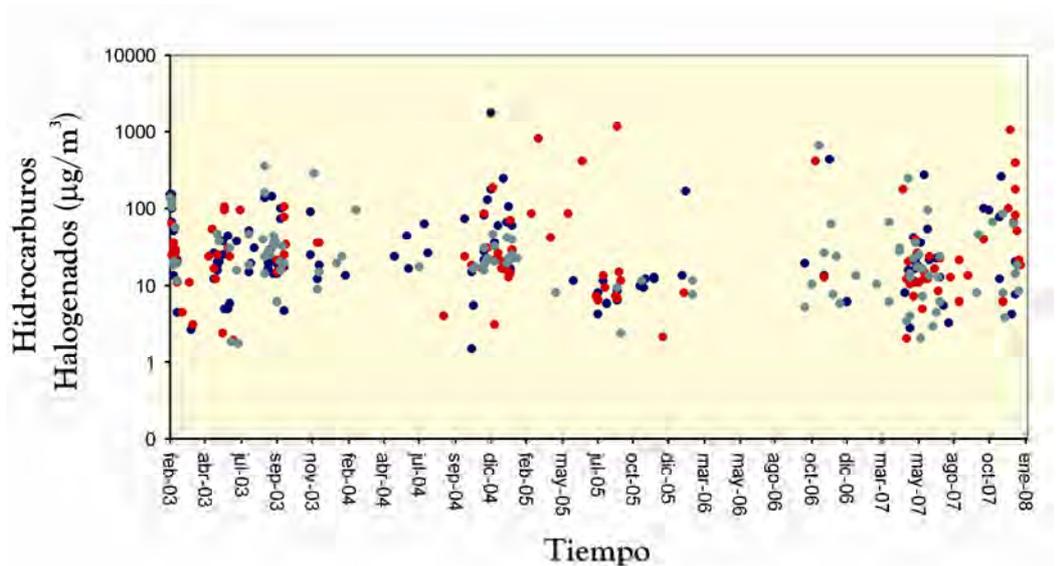


Figura 8.68.- Evolución temporal de la concentración de hidrocarburos halogenados en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

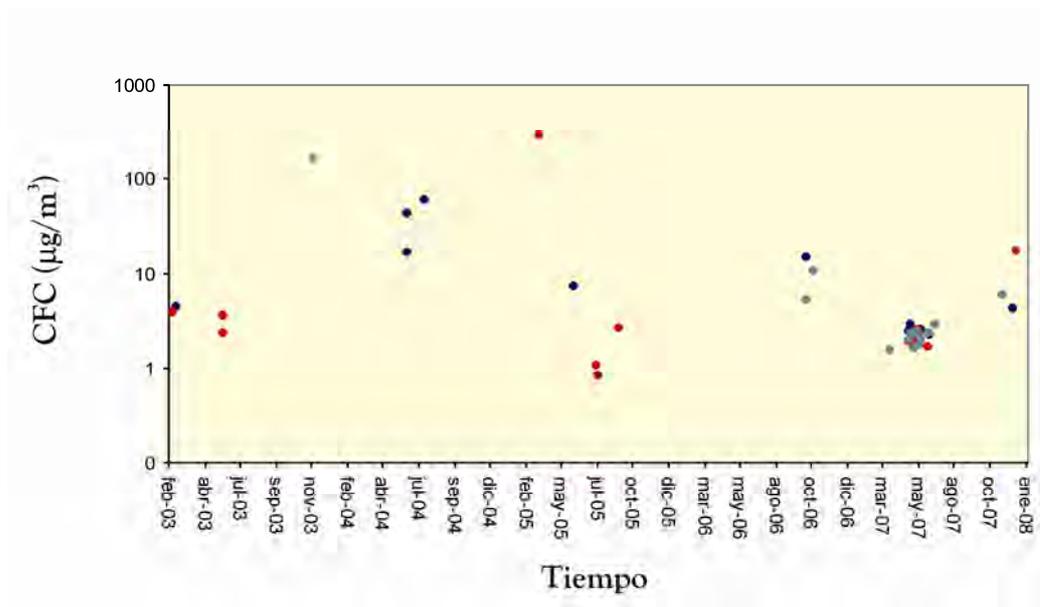


Figura 8.69.- Evolución temporal de la concentración de CFC en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

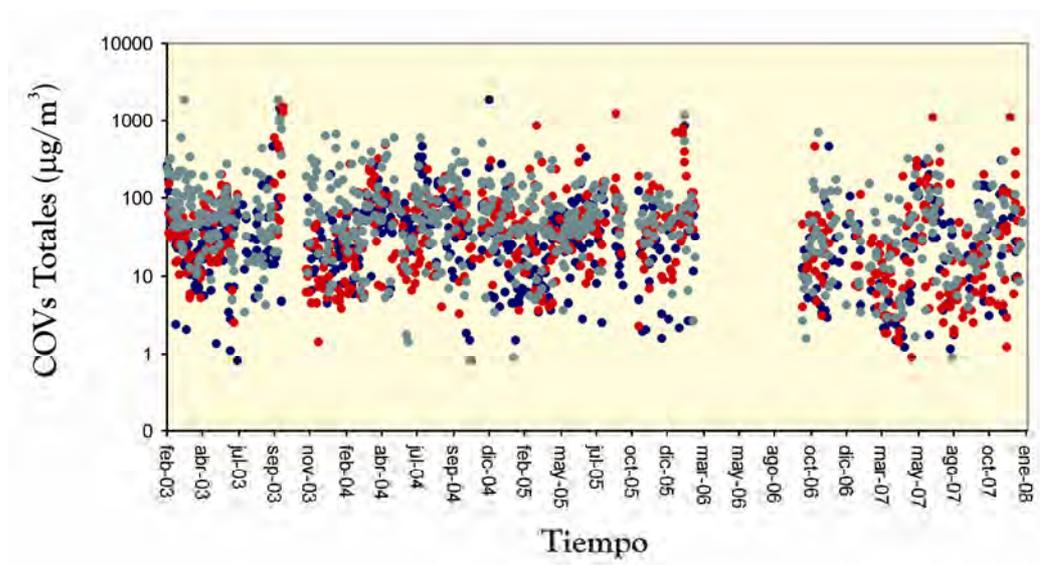


Figura 8.70.- Evolución temporal de la concentración de COVs totales en el área industrial del Polígono Industrial de Granadilla (azul), área urbana del Valle de la Orotava (rojo) y área urbano-industrial de Santa Cruz de Tenerife (gris) durante el periodo de estudio.

Como ya comentamos en el apartado 8.3, además del monitoreo diario de COVs no metanizados en los tres ambientes de estudio, también se han realizado campañas de muestreo mensuales desde Marzo de 2004 hasta Marzo de 2006 a las 12 PM y a las 12 AM en quince puntos de muestreo localizados alrededor de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz. Los puntos de observación han sido ubicados en; (1) Los llanos junto a la Ermita de Nuestra señora de Regla, (2) Frente al Parque Marítimo, (3) Junto al Espacio Cultural el Tanque, (4) Frente al Palmetum, (5) En la puerta principal de acceso a la Refinería de Petróleo de S/C, (6) Frente a la Piscina Municipal, (7) Junto al estadio Pancho Camurra , (8) En la calle Fuentes García, trasera de la Refinería de Petróleo, Barrio Buenos Aires, (9) Junto a la EDAR de Buenos Aires, (10) En el Barrio de Chamberí, (11) En el Polígono Industrial Costa Sur, (12) En el Barrio del Rosario, proximidades de la casa cuna, (13) Frente al cementerio Santa Lastenia, (14) Junto al centro de distribuciones Mercatenerife y por último (15) frente al Hospital Residencial Nuestra Señora de la Candelaria. En las Tablas 8.9 y 8.10 se muestran los valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a las 12 AM y PM en estos diferentes puntos de observación localizados alrededor de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz de Tenerife durante este estudio.

Tabla 8.9. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a las 12 AM en diferentes puntos de observación localizados alrededor de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz de Tenerife durante el periodo de estudio llevado a cabo desde 2004 a 2006.

Puntos de observación	Benceno	Xilenos	BTEX	Radicales bencénicos	Hidrocarburos aromáticos no halogenados	Hidrocarburos halogenados	CFC	COVs totales
Los Llanos	1,17	7,90	26,16	13,31	34,67	3,23	0,00	37,90
Parque Marítimo	1,28	7,85	24,08	13,40	32,49	3,78	0,00	36,27
Tanque	2,81	10,40	31,68	14,98	39,89	3,65	0,00	43,54
Palmetum	2,84	9,12	28,87	15,23	38,09	3,84	0,00	41,94
Entrada Refinería	4,26	14,00	49,97	20,65	63,99	2,00	0,00	65,99
Piscina Municipal	2,96	11,07	37,97	18,29	50,23	2,37	0,00	52,62
Pancho Camurra	2,50	11,89	37,68	18,46	48,42	5,86	3,21	54,28
Fuentes García	0,47	4,90	18,16	11,19	25,91	2,65	0,88	28,56
EDAR	0,63	6,05	21,29	12,56	30,43	2,40	0,42	32,82
Chamberi	1,15	10,76	54,67	20,83	69,14	1,36	0,00	70,51
Polg. Costa Sur	1,51	10,23	41,79	22,89	57,96	1,63	0,00	59,58
Rosario	1,43	11,12	35,49	16,26	45,82	2,62	1,09	48,44
Cementerio	1,62	13,34	40,49	18,65	52,41	1,22	0,01	53,64
Mercatenerife	0,31	5,99	23,21	16,93	36,10	0,32	0,00	36,43
Hospital residencia de la Candelaria	3,56	16,74	54,57	22,06	69,78	0,95	0,00	70,74

Tabla 8.10. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a las 12 PM en diferentes puntos de observación localizados alrededor de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz de Tenerife durante el periodo de estudio llevado a cabo desde 2004 a 2006.

Puntos de observación	Benceno	Xilenos	BTEX	Radicales bencénicos	Hidrocarburos aromáticos no halogenados	Hidrocarburos halogenados	CFC	COVs totales
Los Llanos	0,60	5,47	16,24	8,09	22,59	1,09	0,00	23,68
Parque Marítimo	2,69	9,39	22,86	10,42	30,22	2,20	0,00	32,42
Tanque	0,69	6,29	18,26	11,06	27,31	0,81	0,00	28,12
Palmetum	3,38	8,51	23,44	15,63	35,35	3,61	0,00	38,95
Entrada Refinería	2,50	10,04	29,56	13,53	40,33	2,64	0,00	42,97
Piscina Municipal	3,11	12,18	33,21	19,91	47,26	6,23	0,00	53,50
Pancho Camurra	1,76	8,04	20,40	10,95	28,17	3,48	0,00	31,65
Fuentes García	0,75	7,11	23,09	12,75	31,27	3,43	0,00	34,71
EDAR	0,29	4,62	18,31	13,26	26,33	6,75	0,00	33,08
Chamberí	0,06	10,08	26,99	14,73	37,60	3,78	0,00	41,38
Polg. Costa Sur	1,55	7,48	22,14	13,69	31,49	5,45	0,00	36,93
Rosario	2,26	11,11	28,67	11,62	36,42	4,02	0,44	40,45
Cementerio	1,16	8,49	23,97	11,18	32,93	1,59	0,00	34,52
Mercatenerife	0,98	6,60	18,78	6,50	24,11	2,19	0,00	26,30
Hospital residencia de la Candelaria	1,87	7,63	26,25	11,16	33,88	1,38	0,00	35,26

En la Tabla 8.9 se muestran los resultados promedio obtenidos en las campañas realizadas en el entorno de la Refinería de Petróleo de S/C de Tenerife a las 12 am. Se puede apreciar como los mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados han sido determinados en los cinco puntos siguientes; alrededores del Hospital Residencia de la Candelaria, Chamberí, entrada de la Refinería de Petróleo, Polígono Costa Sur y Estadio Pancho Camurra. Los mayores niveles promedios de inmisión Xilenos ($16.74 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e Hidrocarburos aromáticos no halogenados ($69,78 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) han sido observados en las inmediaciones del Hospital Residencia de la Candelaria, los mayores niveles promedio de inmisión de hidrocarburos halogenados ($5,86 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se han registrados en los alrededores del Estadio Pancho Camurra mientras que los mayores niveles promedio de inmisión de BTEX ($54,67 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) fueron detectados en el barrio de Chamberí situado en las proximidades de la Refinería. En el caso particular del benceno los mayores niveles promedios de inmisión han sido registrados en la entrada de dicho complejo industrial ($4,26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). En la Figura 8.71 podemos visualizar mejor estos niveles promedio de inmisión de COVs totales ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a las 12 AM en los alrededores de la Refinería de Petróleo en Santa Cruz de Tenerife.

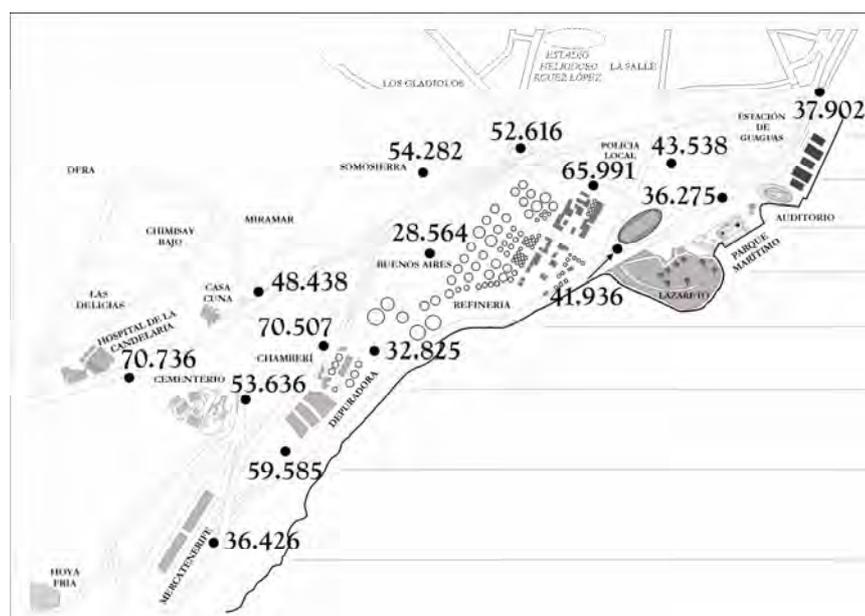


Figura 8.71.- Valores promedio de inmisión de COVs totales ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a las 12 AM en los alrededores de la Refinería de Petróleos en Santa Cruz de Tenerife.

Los valores promedio de inmisión de COVs ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a las 12 PM medidos en los alrededores de la Refinería de Petróleos de Santa Cruz de Tenerife se muestran en la Tabla 8.10. Los puntos de observación donde se han medido los mayores valores de inmisión de COVs no metanizados han sido en la Piscina Municipal, entrada Refinería de Petróleos, barrio de Chamberí, el Rosario y alrededores del Palmetum. Los mayores valores promedio de inmisión de xilenos ($12,18 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), BTEX ($33,20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), radicales bencénicos ($19,91 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) e hidrocarburos aromáticos no halogenados ($47,26 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) han sido determinados en el punto de observación de la Piscina Municipal. Los mayores valores promedio de benceno ($3,38 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) fueron determinados en los alrededores del Palmetum. Los mayores valores promedio de hidrocarburos halogenados ($6,75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) se han registrados entorno a EDAR, mientras que los mayores niveles promedio de CFC ($0,44 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) han sido determinados en el punto de observación del Rosario. En la Figura 8.72 se muestra la distribución espacial de los valores promedio de inmisión de COVs totales en los alrededores de la refinería.

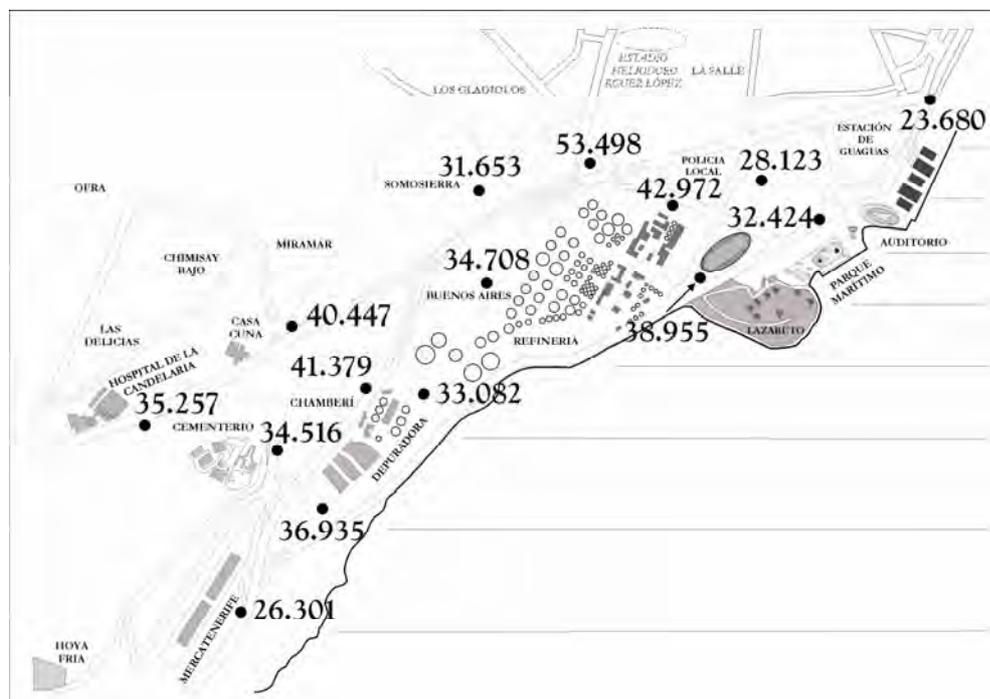


Figura 8.72.- Valores promedio de inmisión de COVs totales ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) a las 12 PM en los alrededores de la Refinería de Petróleos en Santa Cruz de Tenerife.

Cuando comparamos los valores promedio de inmisión de COVs a las 12 AM y a las 12 PM podemos observar como los mayores valores de inmisión han sido medidos a las 12 am. Con este tipo de estudios pretendemos evaluar la evolución temporal de la inmisión de COVs no metanizados en los 15 puntos de observación situados en los alrededores de la Refinería de Petróleos con la finalidad de evaluar la diferencia entre los ambientes diurno y nocturno. Los resultados obtenidos en este estudio nos muestran cómo en los ambientes diurnos encontramos mayores valores de inmisión de COVs no metanizados. Este resultado era de esperar pues durante las horas diurnas es cuando tienen lugar las principales actividades antrópicas. A la intensa actividad vehicular se le suman las actividades industriales que tienen lugar alrededor del entorno estudiado. Curiosamente los valores promedio de inmisión de hidrocarburos halogenados han sido superiores en las horas nocturnas durante estos dos años de estudio, midiéndose los mayores valores de estos COVs no metanizados en los alrededores de la EDAR. Aunque es necesario disponer de más datos, es muy probable que los valores que hemos obtenido en este estudio durante las campañas nocturnas provengan, además del escaso tráfico vehicular que pueda circular en dicha zona de estudio, de la propia actividad de la Refinería de Petróleos. Dicha industria petroquímica no sólo emite COVs no metanizados a través de sus chimeneas y columnas de destilación, sino también a través de toda su superficie y en las actividades de distribución y trasvase de crudo. Hemos de añadir que existe una actividad importante de camiones cisterna que entran y salen de dicha refinería durante la noche y cargan combustible y lo distribuyen a los aeropuertos y a gasolineras de la isla.

8.3.4 Distribución vertical de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la Baja Troposfera de la isla de Tenerife

Existen pocos estudios sobre la distribución vertical de los niveles de COVs no metanizados en la baja troposfera, ya que la mayor parte de las investigaciones se producen en la troposfera libre. Varios autores han observado como las concentraciones de COVs decrecen con la altitud en las capas bajas de la

troposfera (Singh et al., 1988; Rudolph et al., 1992a, 1992b; Boissard et al., 1996).

Sin embargo, en la troposfera libre se encuentran altas concentraciones de COVs (Ehhal et al., 1985; Rudolph, 1988; Sing et al., 1988; Bonsang et al., 1991; Boissard et al., 1996). Esto puede ser debido al rápido ascenso vertical que sufren las masas de aire caliente en su ascenso para ser enfriadas (Ehhal et al., 1985). Estos procesos dinámicos deben ser muy rápidos en comparación con los procesos químicos, dada la corta vida de muchos COVs que han sido determinados en altos estratos de la troposfera (Bonsang & Boissard et al., 1999).

Durante el desarrollo de esta tesis doctoral, se han realizado diversas campañas en la vertiente Norte, Sureste y Sur de la isla de Tenerife con la finalidad de evaluar la distribución espacial los niveles de inmisión de COVs no metanizados con respecto a la altura. Durante los meses de agosto y septiembre de 2003 se materializaron las dos primeras campañas realizadas en la vertiente Norte de la isla de Tenerife. En cada una de estas campañas se recogieron 28 muestras de la baja troposfera, las primeras 24 muestras se recogieron cada 100 m, desde cota 0 hasta los 2.300 m de altura. Las 4 muestras restantes se recogieron cada 300 m de altura desde la base del Teide hasta el mismo cráter. En marzo de 2004 se realizaron nuevamente dos campañas simultáneas una en la vertiente Norte de la Isla de Tenerife y otra en la vertiente sureste, se tomaron un total de 21 muestras. Las 18 primeras muestras se recogieron cada 150 m, desde cota 0 hasta los 2.300 m de altura y 4 muestras restantes se recogieron cada 300 m de altura desde la base del Teide hasta el mismo cráter. En noviembre de 2005 se procedió a la realización de tres campañas simultáneas en la vertiente Norte, Sureste y Sur de la Isla de Tenerife, se tomaron un total de 21 muestras siguiendo la misma distribución de toma de muestras realizada en marzo de 2004.

La primera campaña realizada se materializó entre las 08:00 y las 12:00 horas del 20 de agosto de 2003. En la misma se identificaron y cuantificaron varias especies de COVs no metanizados: benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, 1,3,5-trimetilbenceno, 1,2,4-trimetilbenceno, 1,2,4-triclorobenceno y hexacloro 1,3-butadieno. Estas especies de COVs no metanizados fueron detectadas principalmente por debajo de los 600 m de altitud, mientras que por encima de esta cota sólo se detectaron niveles de inmisión cuantificables para el tolueno, etilbenceno, m+p xileno, 1,2,4-triclorobenceno y hexacloro 1,3-butadieno. En la Tabla 8.11 se pueden observar los niveles de inmisión de COVs no metanizados agrupados. Como no se identificó ni cuantificó ningún CFC no hacemos referencia a dichos COVs no metanizados.

La distribución espacial de COVs no metanizados respecto a la altura en dicha campaña aparece representado en la Figura 8.73. Los mayores valores de inmisión de COVs detectados en la baja troposfera se localizaron por debajo de los 600 m de altura, y más concretamente a cota cero, en los alrededores del Martiánez, en el Puerto de la Cruz. A partir de este punto la concentración va decreciendo gradualmente detectándose un nuevo aumento de concentración de COVs no metanizados a los 400 metros de altitud, en pleno casco urbano de la ciudad de la Orotava, la toma de muestra que aquí se tomó fue en las inmediaciones del Instituto Rafael Arozamena. Los niveles de inmisión de COVs no metanizados decrecen hasta los 600 metros. Observamos un aumento de la concentración de COVs no metanizados, principalmente de Hidrocarburos halogenados a 700 metros de altitud, en el barrio agrícola de Barroso. A partir de este punto los niveles de inmisión de COVs no metanizados vuelven a disminuir hasta aproximadamente los 1000 metros de altura, justo al comienzo del pinar, donde encontramos un ligero incremento en las concentraciones de COVs no metanizados hasta los 1100 metros.

Tabla 8.11. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de Tenerife entre las 8:00 y las 12:00 AM de agosto de 2003.

Altitud	Puntos	BTEX	Radicales Benc.	Hid. Aromáticos no halog.	Hid. Halog.	COVs totales
0	Martínez	33,15	27,71	52,47	37,50	89,96
100	Botánico	23,88	8,80	25,92	11,39	37,31
200	Bananera Guanche	23,81	4,65	23,81	22,14	45,95
300	El Ramal	42,52	11,56	46,83	11,27	58,10
400	Arozamen	4,11	4,91	9,03	55,85	64,87
500	La Florida	4,93	0,00	4,93	15,92	20,85
600	Medianías	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
700	Barroso	0,00	0,00	0,00	32,90	32,90
800	El Tizón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
900	Chasna	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1000	Pinar	13,02	3,20	13,02	0,00	13,02
1100	Pinar	0,00	25,38	0,000	65,18	65,18
1200	Pinar	0,00	0,00	0,00	19,83	19,83
1300	Pinar	0,00	0,00	0,00	17,21	17,21
1400	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1500	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1600	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1700	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1800	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1900	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	Centro Vs	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2100	Bambi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2200	Carretera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2300	M, Blanca	0,00	0,00	0,00	54,29	54,29
2700	Teleférico 1	0,00	0,00	0,00	12,46	12,46
3000	Teleférico 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3325	Teleférico 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3718	Pico Teide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

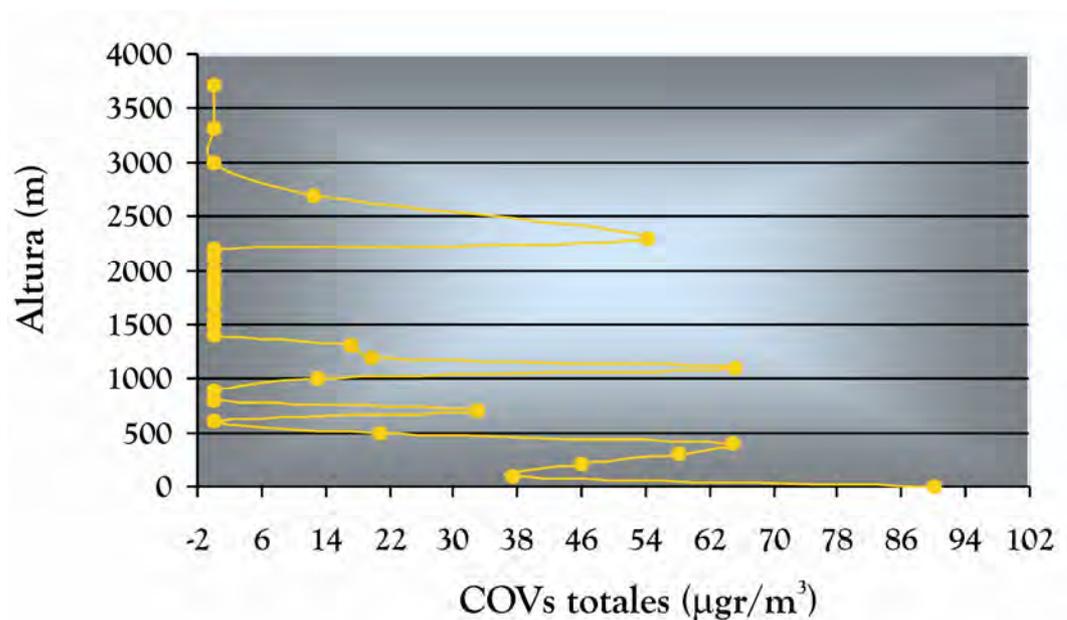


Figura 8.73.- Distribución vertical de los valores de concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil norte de la isla de Tenerife en agosto de 2003 entre las 8:00 y las 12:00 AM.

Los valores de inmisión de COVs no metanizados descienden hasta los 2300 y 2700 metros de altura puntos en los cuales se detectaron valores importantes de hidrocarburos halogenados, especialmente el hexacloro 1,3-butadieno. A partir de esta altitud y hasta los 3718 metros no se detectan valores de inmisión de COVs no metanizados.

En la segunda campaña realizada entre las 14:00 y las 16:00 horas del 4 de septiembre de 2003, además de determinar los valores de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera se tomaron datos de la temperatura y la presión en cada punto de observación (Tabla 8.12).

Los COVs no metanizados detectados durante esta campaña fueron el tolueno, etilbenceno, m+p xileno, 1,3,5 trimetilbenceno, 1,2,4 trimetilbenceno, 1,2,4 triclorobenceno, 1,2 diclorobenceno y hexacloro 1,3 butadieno.

Tabla 8.12. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de Tenerife entre las 14:00 y las 16:00 PM de septiembre de 2003.

Altitud (m)	Puntos	BTEX	Radicales bencénicos	Hid. aromáticos no halogenados	Hid. halogenados	COVs totales	T° (°C)	P (hPa)
0	Martianez	0,00	23,32	23,32	78,02	101,34	26,3	1022,5
100	Botánico	2,65	0,00	2,65	29,90	32,56	27,1	1010,9
200	Bananera Guanche	3,73	0,00	3,73	13,90	17,63	27,5	1000,0
300	El Rantal	11,40	44,08	11,40	109,60	120,99	25,4	985,9
400	Arozamen	3,56	0,00	3,56	28,94	32,49	23,9	976,8
500	La Florida	3,70	0,00	3,70	0,00	3,70	24	963,2
600	Medianias	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,2	953,4
700	Barroso	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,9	942,6
800	El Tizon	2,40	0,00	2,40	0,00	2,40	21,7	931,2
900	Chasna	0,00	0,00	0,00	32,49	32,49	18,7	919,9
1000	Pinar	0,00	0,00	0,00	32,59	32,59	18,5	909,1
1100	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,4	899,1
1200	Pinar	0,00	0,00	0,00	19,84	19,84	18,0	891,0
1300	Pinar	0,00	0,00	0,00	7,55	7,55	18,9	877,4
1400	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,3	870,0
1500	Pinar	0,00	0,00	0,00	50,17	50,17	19,6	859,0
1600	Pinar	0,00	0,00	0,00	29,68	29,68	18,4	848,7
1700	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,6	837,5
1800	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,2	827,4
1900	Pinar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,5	817,8
2000	Centro Vs	0,00	0,00	0,00	11,54	11,54	29,2	807,6
2100	Bambi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,0	799,1
2200	Carretera	0,00	62,43	29,64	82,56	112,19	28,5	788,3
2300	M. Blanca	0,00	0,00	0,00	12,52	12,52	27,7	778,4
2700	Teleféric1	0,00	0,00	0,00	20,27	20,27	13,7	673,8
3000	Teleféric3	0,00	0,00	0,00	14,92	14,92	13,7	673,8
3325	Teleféric5	0,00	0,00	0,00	13,32	13,32	13,7	673,8
3718	Pico Teide	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,7	673,8

La Figura 8.74 se muestra la distribución espacial de los COVs no metanizados respecto a la altura en el perfil norte de la isla. También aparecen representados los valores de temperatura obtenidos en cada punto de observación. Al igual que en el ensayo realizado en dicho perfil entre las 8:00 y las 12:00 horas, los mayores valores de concentración de COVs no metanizados se localizan por debajo de los 600 metros de altitud, y más concretamente en los alrededores del Martianez, Puerto de la Cruz, al igual que en la anterior campaña. Los valores de inmisión de COVs no metanizados comienzan a disminuir paulatinamente hasta los 600 metros de altitud observándose un aumento de la concentración de COVs no metanizados a los 300 metros de altitud, próximos al núcleo urbano de la ciudad de la Orotava. Los valores de inmisión de COVs no metanizados disminuyen desde los 600 hasta los 900 y 1000 metros de altura donde se produce un aumento en las concentraciones,

estos puntos de observación se corresponden con el barrio agrícola de Chasna y el comienzo del área forestal.

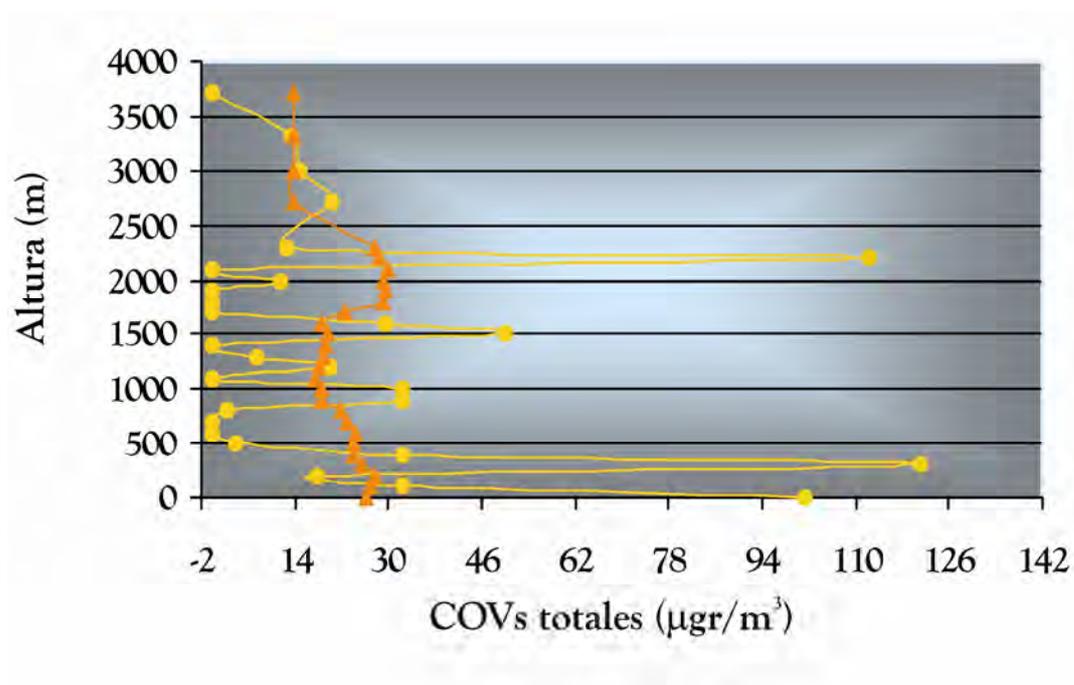


Figura 8.74.- Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil norte de la isla de Tenerife en septiembre de 2003 entre las 14:00 y las 16:00 PM.

A medida que subimos a una mayor altura observamos como tras no detectar concentraciones de COVs no metanizados en la baja troposfera a 1100 metros de altura volvemos nuevamente a registrar a 1200 y 1300 metros de altura valores de inmisión de COVs no metanizados, principalmente hidrocarburos halogenados. A 1400 metros de altura no detectamos valores cuantificables de COVs, registrando concentraciones de hidrocarburos halogenados en la baja troposfera a 1500 y 1600 metros, en área de pinar. A partir de esta cota los valores de inmisión de COVs no metanizados en la atmósfera desaparecen hasta los 2000 metros de altura, alrededor del centro de visitantes del parque Nacional del Teide. Muy probablemente estos valores de COVs no metanizados están relacionados con el intenso tráfico que circula en sus proximidades. A partir de aquí los valores de inmisión de COVs no metanizados decrecen paulatinamente

hasta el pico del Teide donde no se registra valor alguno de concentración de COVs no metanizados. Con respecto a la distribución en altura de la temperatura observamos como se produce un descenso de la misma desde cota cero (26.3°C) hasta los 1600 metros (18.4°C) de altura, donde encontramos la capa de inversión térmica, registrando temperaturas de 22.6°C a 1700 metros, cuatro grados de diferencia en 100 metros. Desde esta altura los valores de temperatura comienzan a disminuir hasta los 13.7°C que registramos en el pico del Teide.

La tercera campaña se realizó en marzo de 2004 entre las 08:00 y las 12:00 horas de la mañana, y de forma simultánea en los perfiles norte y sureste de la isla. Los COVs no metanizados identificados en ambas campañas fueron el tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, 1,3,5 trimetilbenceno y 1,2,4 trimetilbenceno (Tabla 8.13). Estos COVs no metanizados aparecen distribuidos verticalmente a lo largo de todo el perfil norte observándose un aumento de concentraciones hasta los 1200 metros y a partir de aquí se observa un descenso paulatino hasta los 2100 metros. A esta altura observamos nuevamente un aumento en la concentración de COVs no metanizados hasta los 3000 metros y de nuevo un descenso en dicha concentración hasta los 44,21 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ registrados en el pico del Teide. En la Figura 8.75 se muestra la distribución vertical de los valores de inmisión de COVs no metanizados en el perfil norte. Se aprecia claramente como los valores de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera aumentan desde cota cero, en los alrededores del Martiánez, hasta los 1200 metros de altura en pleno pinar. Los valores de temperatura aumentan desde 16°C a nivel del mar hasta los 19°C a 1200 metros.

Tabla 8.13. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de entre las 8:00 y las 12:00 AM de marzo de 2004.

Altitud (m)	Puntos	BTEX	Radicales bencénicos	Hid. aromáticos no halogenados	Hid. Halogenados	COVs totales	T° (°C)	P (hPa)
0	Martianez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,0	1009,0
150	Las Arenas	16,48	4,70	16,48	0,00	16,48	18,0	992,0
300	El Ramal	18,52	4,36	18,52	0,00	18,52	19,0	975,0
450	Frontones	25,94	33,65	50,62	0,00	50,62	18,0	953,0
600	Medianías	27,36	34,15	53,46	0,00	53,46	17,0	953,0
750	Bebedero	32,88	41,86	63,55	0,00	63,55	19,0	922,0
900	Chasna	33,24	52,16	74,75	0,00	74,75	19,0	906,0
1050	Pinar	39,17	65,28	90,02	0,00	90,02	19,0	891,0
1200	Pinar	38,59	66,68	92,24	0,00	92,24	19,0	873,0
1350	Pinar	33,63	53,81	76,63	0,00	76,63	17,0	860,0
1500	Pinar	37,99	49,71	75,02	0,00	75,02	17,0	843,0
1650	Pinar	32,59	52,61	75,03	0,00	75,03	19,0	830,0
1800	Pinar	28,04	38,02	55,39	0,00	55,39	19,0	814,0
1950	Pinar	30,53	59,62	79,76	0,00	79,76	20,0	798,0
2100	Bambi	11,43	27,20	34,04	0,00	34,04	18,0	786,0
2250	Carretera	23,90	33,31	48,59	0,00	48,59	22,0	771,0
2400	M.Blanca	23,20	38,88	53,81	0,00	53,81	21,0	765,0
2700	Teleférico1	22,46	33,01	47,74	0,00	47,74	15,0	733,0
3000	Teleférico3	27,11	59,81	75,12	0,00	75,12	15,0	733,0
3325	Teleférico5	25,91	49,70	64,34	0,00	64,34	15,0	658,0
3718	Pico Teide	17,92	29,74	44,21	0,00	44,21	15,0	600,0

El día de la toma de muestras desde los 1200 metros de altitud, observamos un nuevo descenso de los valores de inmisión de COVs no metanizados hasta los 2100 metros de altura, a partir de los cuales comienzan a crecer las concentraciones hasta los 3000 metros altura, aproximadamente en la base del teleférico, en la cual comienza su descenso nuevamente hasta el pico del Teide. A 1200 metros de altura se observa una temperatura de 19°C, la cual desciende en apenas 150 metros 2°C (17°C a 1300m), a partir de esta cota la temperatura ambiente comienza a aumentar hasta los 2400 metros (21°C) y desde aquí descienden hasta los 15°C medidos en el pico del Teide.

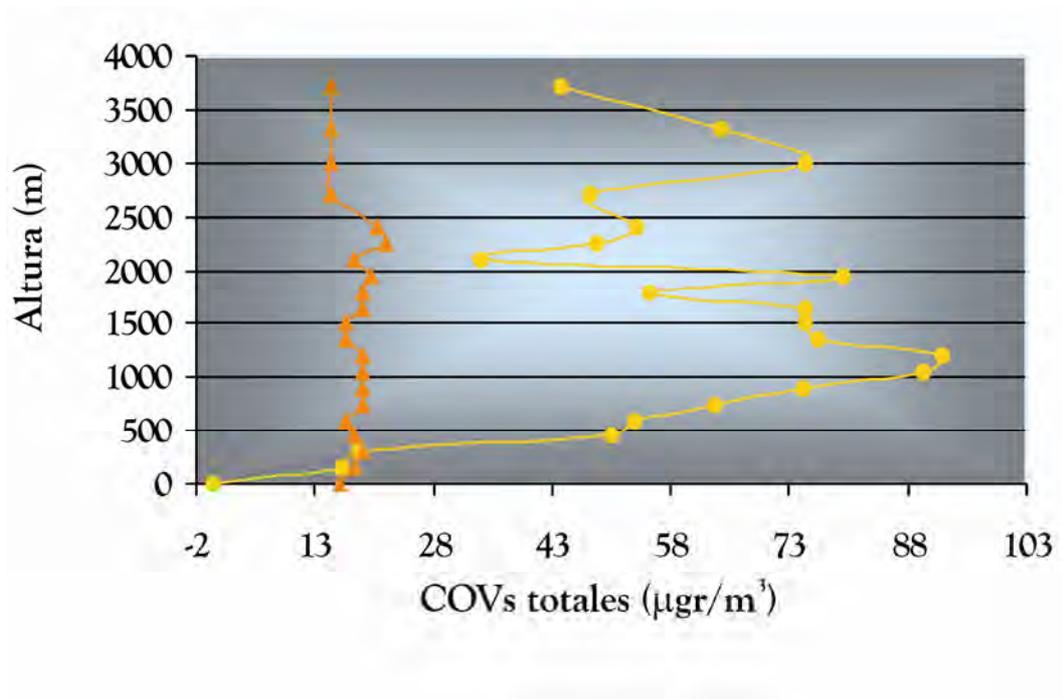


Figura 8.75.- Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil norte de la isla de Tenerife en marzo de 2004 entre las 8:00 y las 12:00 am.

Cuando se realizó esta campaña las condiciones climáticas eran de intensa calma, y este hecho se dejó sentir de manera muy acusada en el perfil sureste donde las temperaturas eran bastante altas (Tabla 8.14). Los COVs no metanizados fueron detectados a partir de los 1650 metros de altura muy probablemente debido a las altas temperaturas existentes que degradan más fácilmente estos compuestos. Desde esta cota los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera aumentaron hasta los 3000 metros de altura donde comenzaron a decrecer hasta el pico del Teide. En la Figura 8.76 se muestra la distribución espacial de los COVs no metanizados en el perfil sureste de la isla en este ensayo realizado en marzo de 2004. Desde la central térmica de Caletillas hasta la carretera de los loros a 1650 metros de altura no se detectan valores significativos de COVs no metanizados. Es a partir de esta altura cuando observamos un incremento en la concentración de estos COVs no metanizados hasta los 3000 metros de altura, muestra tomada en la segunda torreta del

teleférico. A partir de aquí las concentraciones decrecen hasta el mismo pico del Teide.

Tabla 8.14. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil sureste la isla de Tenerife entre las 8:00 y las 12:00 AM de marzo de 2004.

Altitud (m)	Puntos	BTEX	Radicales bencénicos	Hid. aromáticos no halogenados	Hid. Halogenados	COVs totales	T (°C)	P (hPa)
0	Caletillas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,0	1009,5
150	Tejinera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,1	988,1
300	Araya	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,5	972,2
450	Cuevecitas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,6	953,7
600	La Tapia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,3	940,6
750	Los Loros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,8	924,4
900	Los Loros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,3	908,3
1050	Los Loros	6,94	0,00	6,94	0,00	6,94	22,1	891,2
1200	Los Loros	4,20	0,00	4,20	0,00	4,20	24,2	874,2
1350	Los Loros	3,94	0,00	3,94	0,00	3,94	20,4	857,9
1500	Los Loros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,4	841,6
1650	Los Loros	3,59	0,00	3,59	0,00	3,59	19,2	827,5
1800	Pinar	3,67	0,00	3,67	0,00	3,67	19,7	811,0
1950	Pinar	3,80	0,00	3,80	0,00	3,80	17,7	798,4
2100	La Tarta	23,54	33,49	50,35	0,00	50,35	17,4	785,3
2250	M.Cabezón	15,80	15,53	26,53	0,00	26,53	16,7	769,9
2400	Base Teleférico	23,20	38,88	53,81	0,00	53,81	21,0	765,0
2700	Teleférico1	22,46	33,01	47,74	0,00	47,74	15,0	733,0
3000	Teleférico3	27,11	59,81	75,12	0,00	75,12	15,0	733,0
3325	Teleférico5	25,91	49,70	64,34	0,00	64,34	15,0	658,0
3718	Pico Teide	17,92	29,74	44,21	0,00	44,21	15,0	600,0

La temperatura registrada en este perfil sureste aumenta desde 21°C en Caletillas hasta 24,2 °C a 1200 metros de altitud en la carretera de los Loros. El siguiente punto de observación estaba situado también en la carretera de los Loros, en el municipio de Arafo, a 1300 metros de altura, registrándose valores de temperatura ambiente de 20,4 °C, cuatro grados menos en 150 metros de altura. A 1650 metros de altura observamos nuevamente un aumento de la temperatura hasta los 22,4 °C, a partir de esta cota la temperatura desciende gradualmente hasta los 16,7°C registrados a 2250 metros en Montaña Cabezón. En la base del Teleférico observamos el siguiente punto de muestreo a 2400 metros de altitud, es aquí donde observamos un aumento de 5°C de temperatura en la baja troposfera. A partir de este punto la temperatura desciende

drásticamente desde los 21,0°C aquí registrados hasta los 15,0°C determinados en el pico del Teide.

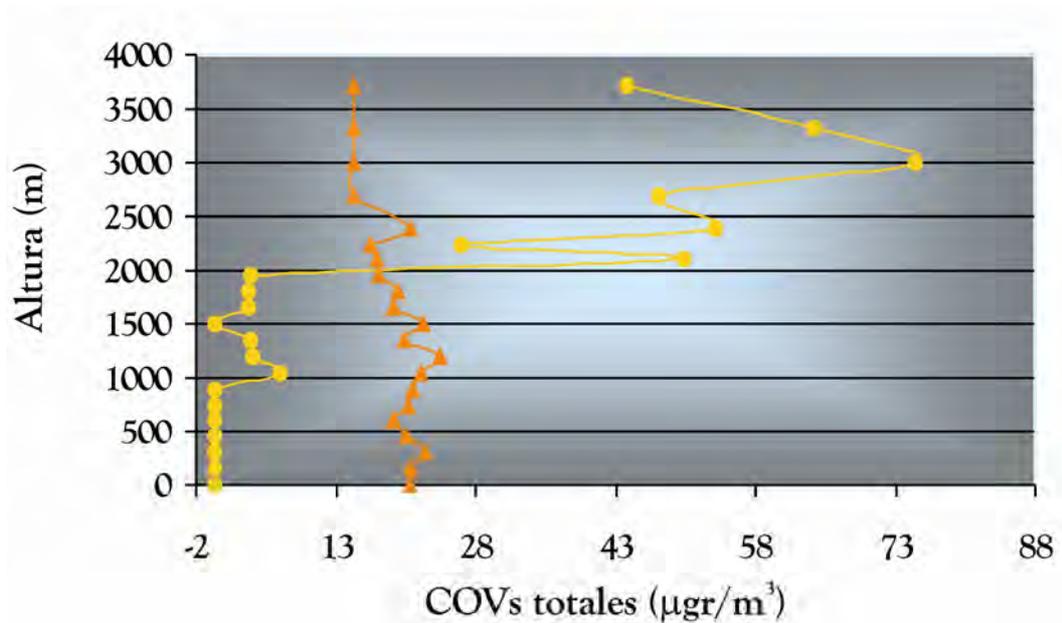


Figura 8.76.- Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en marzo de 2004 entre las 8:00 y las 12:00 am.

En la cuarta campaña materializada el 7 de noviembre de 2005 se realizaron simultáneamente tres perfiles en la isla de Tenerife. Se tomaron muestras en el perfil norte, sureste y sur de la isla (Tablas 8.15, 8.16 y 8.17). Los COVs no metanizados identificados y cuantificados en estas campañas fueron el benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, 1,3,5-trimetilbenceno y 1,2,4-trimetilbenceno. En el perfil norte además de dichos COVs determinamos niveles de inmisión en la baja troposfera de estireno y tetracloruro de carbono, mientras que en el perfil sureste y sur se han identificado además niveles de inmisión en la atmósfera de 1,2,4-triclorobenceno.

Tabla 8.15. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil norte la isla de entre las 8:00 y las 12:00 AM de noviembre de 2005.

Altitud (m)	Puntos	BTEX	Radicales bencénicos	Hid. aromáticos no halogenados	Hid. Halogenados	COVs totales	T (°C)	P (hPa)
0	Martianez	2,71	0,00	2,71	0,00	2,71	19,9	1025,0
150	Las Arenas	38,05	21,54	55,49	0,00	55,49	20,4	1010,0
300	El Ramal	24,12	9,80	31,48	0,00	31,48	20,0	990,0
450	Frontones	24,56	20,40	42,30	0,00	42,30	17,6	975,0
600	Medianias	13,05	11,62	22,88	0,00	22,88	20,9	955,0
750	El Bebedero	2,82	5,88	8,70	0,00	8,70	21,2	940,0
900	Chasna	2,09	0,00	2,09	0,00	2,09	19,9	925,0
1050	Pinar	11,37	21,18	30,05	0,00	30,05	19,9	910,0
1200	Pinar	22,50	18,09	37,37	0,00	37,37	17,7	905,0
1350	Pinar	12,17	19,12	28,80	0,00	28,80	16,2	880,0
1500	Pinar	77,16	39,30	90,24	0,00	109,28	15,8	865,0
1650	Pinar	9,20	17,91	25,24	0,00	25,24	15,3	850,0
1800	Pinar	2,08	5,71	7,79	0,00	7,79	15,1	830,0
1950	Pinar	5,19	18,71	22,39	0,00	22,39	15,7	815,0
2100	Bambi	1,69	11,42	13,11	0,00	13,11	14,4	800,0
2250	M.Mostaza	8,00	18,63	24,82	0,00	24,82	14,5	790,0
2400	Base Teleférico	1,74	0,00	1,74	0,00	1,74	19,1	759,2
2700	Teleférico1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,1	717,0
3000	Teleférico3	1,34	6,72	8,05	0,00	8,05	15,1	681,3
3325	Teleférico5	0,00	5,24	5,24	0,00	5,24	14,8	662,3
3718	Pico Teide	1,52	5,68	7,20	0,00	7,20	17,4	658,3

Tabla 8.16. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil sureste la isla de entre las 8:00 y las 12:00 AM de noviembre de 2005.

Altitud (m)	Puntos	BTEX	Radicales bencénicos	Hid. aromáticos no halogenados	Hid. Halogenados	COVs totales	T (°C)	P (hPa)
0	Caletillas	16,85	23,10	37,77	0,00	37,77	18,3	1021,0
150	Tejina	8,18	4,76	12,94	0,00	12,94	18,9	1005,0
300	Araya	12,65	15,11	26,01	0,00	26,01	24,5	992,7
450	Cuevecitas	5,25	2,40	7,65	0,00	7,65	22,5	965,8
600	La Tapia	5,10	4,95	10,05	0,00	10,05	23,0	953,6
750	Los Loros	22,07	19,37	37,65	0,00	37,65	23,4	934,8
900	Los Loros	7,25	3,43	10,68	0,00	10,68	24,2	918,4
1050	Los Loros	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,3	905,3
1200	Los Loros	1,77	0,00	1,77	0,00	1,77	24,6	891,4
1350	Los Loros	1,68	20,79	10,86	11,61	22,47	23,1	874,2
1500	Los Loros	1,82	2,87	4,69	0,00	4,69	21,1	857,7
1650	Los Loros	2,32	8,12	10,44	0,00	10,44	19,2	844,1
1800	Pinar	16,34	14,70	28,87	0,00	28,87	17,8	825,0
1950	Pinar	15,82	9,74	23,89	0,00	23,89	16,7	812,7
2100	La Tarra	1,71	7,26	8,97	0,00	8,97	19,0	803,4
2250	M.Cabezón	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,3	783,9
2400	Base Teleférico	1,74	0,00	1,74	0,00	1,74	19,1	759,2
2700	Teleférico1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,1	717,0
3000	Teleférico3	1,34	6,72	8,05	0,00	8,05	15,1	681,3
3325	Teleférico5	0,00	5,24	5,24	0,00	5,24	14,8	662,3
3718	Pico Teide	1,52	5,68	7,20	0,00	7,20	17,4	658,3

Tabla 8.17. Valores promedio de concentración de COVs no metanizados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en los diferentes puntos de observación localizados en el perfil sur la isla de entre las 8:00 y las 12:00 AM de noviembre de 2005.

Altitud (m)	Puntos	BTEX	Radicales bencénicos	Hid. aromáticos no halogenados	Hid. Halogenados	COVs totales	T (°C)	P (hPa)
0	ITER	3,03	3,44	6,46	0,00	6,46	21,0	1020,0
150	San Isidro	40,55	21,93	57,22	0,00	57,22	21,6	1003,0
300	Yaco	4,65	0,00	4,65	0,00	4,65	23,4	990,8
450	Casa Amarilla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,0	977,5
600	M. Vieja	4,44	0,00	4,44	0,00	4,44	25,2	952,0
750	El Fronton	22,10	19,13	37,46	0,00	37,46	24,7	939,0
900	La Tafetana	7,16	2,89	10,05	0,00	10,05	24,0	924,4
1050	Euchoba	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,7	904,3
1200	Pinar	1,71	0,00	1,71	0,00	1,71	23,1	887,1
1350	Era verde	1,63	18,81	9,86	10,58	20,44	22,7	873,9
1500	Vilafllor	1,65	0,00	1,65	0,00	1,65	20,9	859,9
1650	Pinar	2,52	7,45	9,96	0,00	9,96	22,6	843,0
1800	Pinar	16,12	6,26	20,22	0,00	20,22	18,1	826,1
1950	Pinar	30,90	9,68	38,33	0,00	38,33	15,7	810,3
2100	Pinar	9,09	10,09	17,27	0,00	17,27	16,4	798,3
2400	Base Teleférico	1,74	0,00	1,74	0,00	1,74	19,1	759,2
2700	Teleférico1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,1	717,0
3000	Teleférico3	1,34	6,72	8,05	0,00	8,05	15,1	681,3
3325	Teleférico5	0,00	5,24	5,24	0,00	5,24	14,8	662,3
3718	Pico Teide	1,52	5,68	7,20	0,00	7,20	17,4	658,3

En la Figura 8.77 se muestra la distribución vertical de los valores de concentración de COVs en el perfil norte. Se observa un aumento de concentración hasta los 150 metros de altura, en los alrededores de las Arenas en el municipio del Puerto de la Cruz y luego un descenso paulatino de las mismas hasta los 900 metros de altitud, en el barrio agrícola de Chasna. Seguidamente se produce un aumento hasta los 1500 metros, en pleno pinar. Es en este punto de observación es donde se localizaron los mayores valores de inmisión de COVs en la baja troposfera. Desde aquí hasta la cima del Teide los valores de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera comienzan a disminuir. En cuanto a los valores de temperatura observados en este perfil, estos aumentan desde el nivel del mar, en los alrededores del Martiánez hasta los 300 metros de altura, en el Ramal, en el valle de la Orotava. En el siguiente punto localizado a la altura de 450 metros, en los Frontones se produce un descenso de la temperatura de casi 3 °C, registrándose temperaturas de 17°C en

la baja troposfera. A partir de este punto los valores de temperatura aumentan hasta los 21,2°C determinados a 750 metros de altitud y desde aquí hasta montaña Mostaza a 2250 metros de altura la temperatura desciende hasta los 14,5°C. En el siguiente punto de observación, localizado a 2400 metros de altitud en la misma base del teleférico se produce un aumento de la temperatura hasta los 19,1°C, que desciende gradualmente con la altura hasta los 3325 metros (14,8°C) donde se produce nuevamente un aumento hasta los 17,4 °C detectados en el pico del Teide.

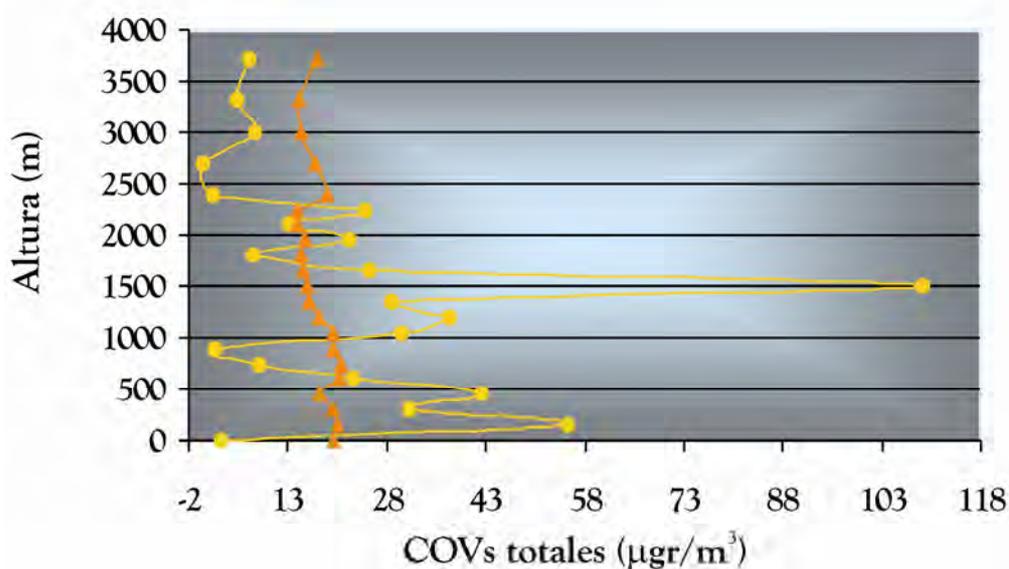


Figura 8.77.- Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en noviembre de 2005 entre las 8:00 y las 12:00 am.

En la Figura 8.78 se muestra la distribución vertical de los niveles de inmisión de COVs no metanizados a lo largo del perfil sureste de la isla. Se observa como los niveles de inmisión de COVs no metanizados en la baja troposfera decrecen desde cota cero, junto a la Central Térmica de Caletillas hasta los 1050 metros de altura en la carretera de los Loros, en Arafo. Se observa en esta distribución altitudinal un aumento de la concentración de COVs no metanizados a 900 metros de altura con similares niveles de concentración que

los registrados junto a la Central Térmica de Caletillas. Desde el punto de muestreo localizado a 1050 metros de altura se observa un aumento de los niveles de inmisión hasta los 1800 metros de altura en área de pinar. Hemos de añadir que a pesar de que entre los 1050 y los 1800 metros de altura se observa un gradual incremento de concentraciones de COVs no metanizados en la baja troposfera en el punto de observación localizado a 1500 metros de altura los niveles de inmisión de COVs en la atmósfera registrados han sido relativamente bajos. Desde 1800 metros de altura los niveles de inmisión de de COVs no metanizados en la atmósfera comienzan a decrecer hasta el Teleférico a 2700 metros de altitud se aprecia un ligero ascenso en las concentraciones de COVs no metanizados en la atmósfera a 3000 metros de altura que disminuyen ligeramente hasta el mismo pico del Teide donde se registran niveles moderados de COVs no metanizados. Al observar la distribución de la temperatura con la altura en el perfil sureste vemos como la temperatura aumenta desde 18,3 °C hasta los 29,3 °C a 1050 metros de altura. A partir de esta cota se produce un descenso brusco de la temperatura hasta los 16,7 °C registrados a 1950 metros en área forestal, casi 13 °C de diferencia en 800 metros de altura.

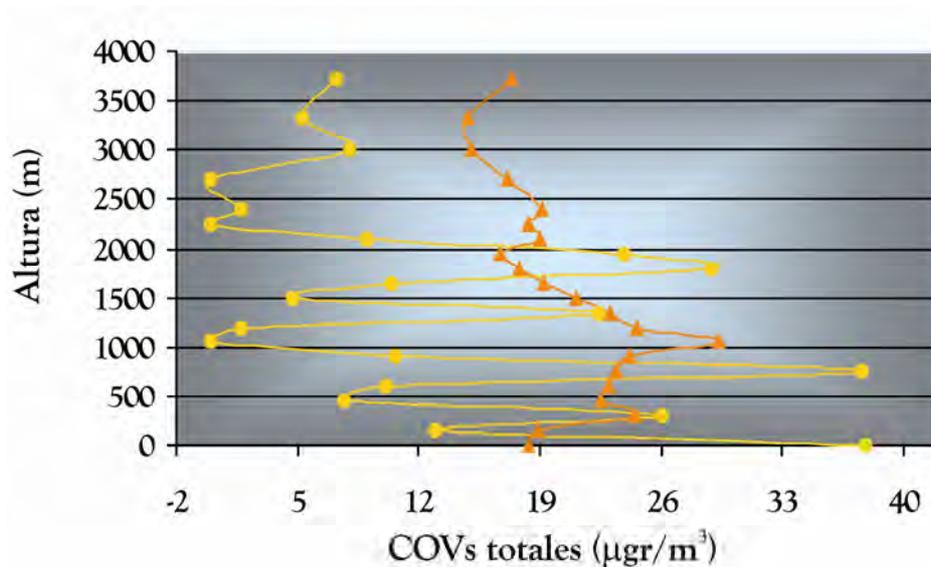


Figura 8.78.- Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C

en el perfil sureste de la isla de Tenerife en noviembre de 2005 entre las 8:00 y las 12:00 am.

Desde 1950 metros hasta la misma base del teleférico a 2400 metros de altura (19,1 °C) se observa un pequeño ligero incremento de la temperatura ambiente que nuevamente disminuye hasta los 3325 metros de altura donde se registran valores de temperatura de 14,8 °C. En el pico del Teide se toma la última medida de temperatura, es en este punto de observación donde se registraron 17,4 °C, valor ligeramente superior al observado en el anterior punto de muestreo.

El perfil sur queda descrito en la Figura 8.79, podemos observar como las concentraciones de COVs no metanizados aumentan hasta los 150 metros donde encontramos el pueblo de San Isidro que soporta un intenso tráfico vehicular, los niveles de inmisión de COVs disminuyen hasta los 450 metros de altitud donde comienza nuevamente un aumento paulatino de la concentración hasta los 750 metros donde se localiza el pueblo agrícola del Frontón, a partir de aquí las concentraciones comienzan a decrecer hasta los 1500 metros observándose previamente un ligero aumento a los 1350 metros en la Era verde, área agrícola de Vilaflor. A partir de 1500 metros observamos un aumento hasta los 1950 metros, en plena área forestal y desde aquí el descenso se hace patente hasta el mismo cráter del Teide.

La distribución vertical de la temperatura en el perfil sur de la isla refleja como existe un aumento de la misma desde el nivel del mar a 21,0 °C hasta los 25,2 °C medidos a 600 metros en Montaña Vieja, en el Municipio de Granadilla. A partir de aquí los valores de temperatura en la baja troposfera comienzan a disminuir hasta los 16,4 °C determinados en plena área forestal a 2100 metros de altura. En este punto de observación tiene lugar un nuevo aumento de la temperatura hasta los 19,1 °C registrados a 2400 metros en la misma base del teleférico, desde este punto al cráter del Teide la temperatura decrece paulatinamente.

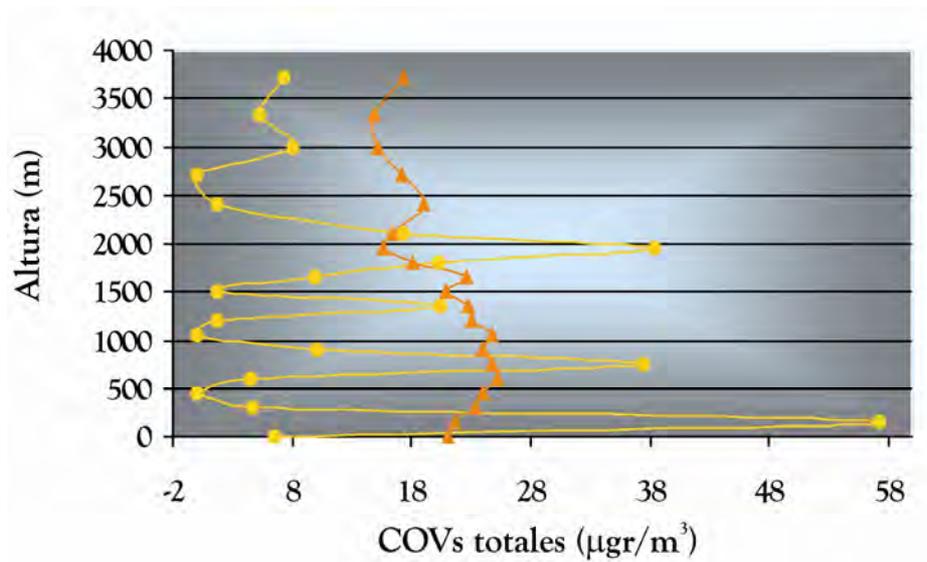


Figura 8.79.- Distribución vertical de la temperatura y la concentración de COVs no metanizados en la baja troposfera expresados en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a 1 atm y 20°C en el perfil sureste de la isla de Tenerife en noviembre de 2005 entre las 8:00 y las 12:00 am.

Estos resultados reflejan como las concentraciones de COVs no metanizados en la baja troposfera varían dependiendo de su posición geográfica. Esta observación pudieran estar relacionadas con una muy probable diferencia entre la densidad de tráfico existente en las carreteras de la isla, además de los ambientes que rodean cada punto de muestreo en cada perfil al existir áreas forestales, agrícolas, urbanas e industriales. A las diferentes observaciones pudieran también atribuirse cambios de altura de la capa de mezcla dado que al posicionarse la misma a mayores alturas por un proceso de calentamiento se produciría una dilución de los contaminantes atmosféricos en ciertas zonas. Los incrementos de la temperatura ambiente aproximadamente entre la cota y los 1000 m de altura pueden estar caracterizando la capa de mezcla. Es precisamente en este intervalo de alturas dónde se han detectado los mayores niveles de inmisión de COVs en la baja troposfera de la isla de Tenerife. Por encima de esta altura, la temperatura experimenta un descenso paulatino hasta dónde se produce un aumento drástico de la temperatura que caracteriza la posición de la capa de inversión térmica en la isla de Tenerife.

8.4 *Conclusiones*

1) Los niveles de inmisión de COVs no metanizados disminuyen conforme nos alejamos de áreas urbanas.

2) Al comparar los niveles de inmisión de COVs no metanizados determinados en los tres puntos de observación (Polígono Industrial de Granadilla, Valle de la Orotava y Santa Cruz) de esta tesis doctoral con otras ciudades, se observa que estos niveles de concentración son relativamente bajos.

3) Las principales regiones con niveles de concentración de COVs no metanizados en ppbV son Budapest (Hungria), Izmir (Turquía), Manila (Filipinas), Bangkok (Tailandia), Roma (Italia), Sao Paulo (Brasil), Seúl (Corea), Grecia (Atenas) y Santiago de Chile (Chile).

4) Las siguientes ciudades europeas de La Coruña, Atenas, Westfalia, Birmingham y Londres presentan valores superiores a los establecidos por la Directiva europea 2000/69/CE. Sólo las ciudades de la S/C de Tenerife, La Orotava y el Polígono Industrial de Granadilla se ajustan actualmente a dicha normativa.

5) La dirección noreste-este es el principal origen de los niveles de inmisión de COVs no metanizados en el Polígono Industrial de Granadilla, en esta dirección encontramos las emisiones de la Cementera “Cement Investment”. También se observa en menor medida otras dos direcciones de aporte de COVs no metanizados, en dirección sureste el mar, posiblemente el spray marino y en dirección suroeste encontramos los invernaderos localizados en el Médano y el Aeropuerto Reina Sofía.

6) Los niveles de inmisión de COVs no metanizados medidos durante el periodo 2003-2008 en el valle de la Orotava provienen de múltiples fuentes de contaminación, dirección sur-sureste; autopista TF5, dirección oeste-noroeste y suroeste; tráfico urbano y dirección norte-noroeste; spray marino.

7) Las principales direcciones contaminantes de COVs no metanizados en Santa Cruz provienen de dirección noreste, contaminación relacionada con el

intenso tráfico procedente del centro de la ciudad y del intenso tráfico pesado que entra y sale del Puerto de Santa Cruz de Tenerife, dirección sureste, contaminación relacionada con las emisiones contaminantes procedentes del Palmetum, antiguo vertedero de Lazareto, dirección sur contaminación relacionada con las emisiones procedentes del mar, en este área encontramos el muelle de Honduras muelle y dirección suroeste, contaminación relacionada con las emisiones contaminantes procedentes de la Refinería de Petróleo y de la vía de acceso desde la autopista del sur hacia la capital y dirección oeste-noroeste, origen procedente de la Refinería de Petróleo y de la Autopista del Norte, TF5.

8) Los mayores niveles de inmisión de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, BTEX, hidrocarburos aromáticos no halogenados y COVs totales en la baja troposfera de la Isla han sido detectados en la atmósfera de Santa Cruz de Tenerife.

9) Los mayores niveles de inmisión de o-xileno y radicales bencénicos han sido registrados en el año 2006 en la baja troposfera del valle de la Orotava.

10) Los hidrocarburos halogenados y CFC han sido determinados mayormente en la baja troposfera del valle de la Orotava en mayores concentraciones en el año 2005.

11) Los resultados promedios obtenidos en las campañas realizadas en el entorno de la Refinería de Petróleo de S/C de Tenerife a las 12 am. muestran como los mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados han sido determinados en los cinco puntos siguientes; alrededores del Hospital Residencia de la Candelaria, Chamberí, entrada de la Refinería de Petróleo, Polígono Costa Sur y Estadio Pancho Camurra.

12) Los mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados para los ensayos realizados a las 12 PM en los alrededores de la Refinería de Petróleo han sido localizados en la Piscina Municipal, entrada Refinería de Petróleo, barrio de Chamberí, el Rosario y alrededores del Palmetum.

13) Es en los ambientes diurnos donde encontramos mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados, debido a que en estas horas es cuando tienen lugar las principales actividades antrópicas; una intensa actividad vehicular y actividades industriales como la actividad de la Refinería de Petróleo.

14) Los resultados obtenidos de los perfiles altitudinales reflejan como las concentraciones de COVs no metanizados en la baja troposfera disminuyen con la altura y varían dependiendo de su posición geográfica.

Conclusiones Generales y Trabajos Futuros



Conclusiones

1) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales a la atmósfera por el tráfico de vehículos que entra y sale diariamente en S/C de Tenerife se ha estimado en 4,3 16,1 2,6 8,2 31,1 9,1 38,8 1,4 y 39,5 Kg·d⁻¹·Km, respectivamente.

2) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales emitidos a la atmósfera por el tráfico de vehículos que circulan diariamente entre Santa Cruz y La Laguna se ha estimado en 17, 65, 11, 33, 126, 37, 158, 6 y 60 Kg·d⁻¹, respectivamente.

3) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales a la atmósfera por el tráfico de vehículos que circulaba en la isla de Tenerife en 1998 ha sido estimada en 168,628, 101, 320, 1213, 355, 1514, 55 y 1541 Kg·d⁻¹, respectivamente.

4) La emisión de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados y COVs totales a la atmósfera por el tráfico de vehículos que circulaba en la isla de Tenerife en 2006 ha sido estimada en 225, 842, 136, 429, 1627, 476, 2030, 73 y 2066 Kg·d⁻¹, respectivamente.

5) Se observa un aumento en la emisión de COV no metanizados por el tráfico de vehículos por carretera en la isla de Tenerife desde el año 1998 hasta el año 2006.

6) La emisión No-controlada de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2004 ha sido estimada en 0,002, 2,17, 0,38, 0,63, 0,87, 4,06, 1,21, 5,95, 0,32, 0,13 y 6,36 Kg·d⁻¹, respectivamente.

7) La emisión biogénica No-controlada de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales a la atmósfera por el vertedero de Arico en 2005 ha sido estimada en 1,72, 2,70, 0,15, 0,43, 0,48, 6,27, 0,82, 8,41, 0,09, 0,01, y 8,89 Kg·d⁻¹, respectivamente.

8) La emisión biogénica no-controlada de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, o-xileno, BTEX, Radicales bencénicos, Hidrocarburos aromáticos no halogenados, Hidrocarburos halogenados, CFC y COVs totales a la atmósfera en el vertedero de Lazareto en 2005 ha sido estimada en 0,02, 1,23, 0,13, 0,03, 0,03, 1,47, 0,51, 1,87, 0,04, 0,002 y 1,91 Kg·d⁻¹, respectivamente

9) La emisión de COVs no metanizados a la atmósfera por la EDAR de Santa Cruz de Tenerife en el pretratamiento, clarificadores primarios, reactores biológicos y clarificadores secundarios ha sido 0,03, 0,13, 0,06 y 0,08 Kg·d⁻¹, respectivamente.

10) La emisión a la atmósfera de COVs no metanizados por la ganadería de la isla de Tenerife ha sido evaluada en 0,14 kg·d⁻¹, respectivamente.

11) El sistema volcánico del Teide emite diariamente a la atmósfera 0,0001 Kg·d⁻¹ de COVs no metanizados.

12) De las fuentes emisoras de COVs no metanizados a la atmósfera en la isla de Tenerife el Trafico de vehículos por carretera es la de mayor emisión seguida de la emisión del vertedero operativo de Arico, vertedero clausurado de Lazareto, actividad ganadera, depuradoras y volcán Teide.

13) Los niveles de inmisión de COVs no metanizados disminuyen conforme nos alejamos de áreas urbanas. Los niveles de inmisión de COVs no metanizados determinados en los tres puntos de observación (Polígono Industrial de Granadilla, Valle de la Orotava y Santa Cruz) de esta tesis doctoral comparado con otras ciudades son relativamente bajos.

14) Los mayores niveles de inmisión de benceno, tolueno, etilbenceno, m+p xileno, BTEX, hidrocarburos aromáticos no halogenados y COVs totales en la baja troposfera de la Isla han sido detectados en la atmósfera de Santa Cruz de Tenerife.

15) Los resultados promedios obtenidos en las campañas realizadas en el entorno de la Refinería de Petróleo de S/C de Tenerife a las 12 AM. muestran como los mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados han sido determinados en los cinco puntos siguientes; alrededores del Hospital Residencia de la Candelaria, Chamberí, entrada de la Refinería de Petróleo, Polígono Costa Sur y Estadio Pancho Camurra.

16) Los mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados para los ensayos realizados a las 12 PM en los alrededores de la Refinería de Petróleo han sido localizados en la Piscina Municipal, entrada Refinería de Petróleo, barrio de Chamberí, el Rosario y alrededores del Palmetum.

17) Es en los ambientes diurnos donde encontramos mayores niveles de inmisión de COVs no metanizados, debido a que en estas horas es cuando tienen lugar las principales actividades antrópicas; una intensa actividad vehicular y actividades industriales como la actividad de la Refinería de Petróleo.

18) Los resultados obtenidos de los perfiles altitudinales reflejan como las concentraciones de COVs no metanizados en la baja troposfera disminuyen con la altura y varían dependiendo de su posición geográfica.

Trabajos Futuros

1) Mejorar la Estimación de COVs no metanizados por Centrales Termoeléctricas y Refinerías de Petróleo en la isla de Tenerife.

2) Estimar la emisión de COVs no metanizados desde otras fuentes contaminantes en la isla como gasolineras y talleres de chapa y pintura.

3) Estimar la emisión de COVs “in-door”.

4) Estimar las emisiones de COVs no metanizados emitidos por la masa boscosa de la isla de Tenerife.

Bibliografía

Agencia europea de Medio Ambiente: AEMA (2001). El Medio Ambiente en la Unión Europea en el umbral del siglo XXI.

Allen, M.R., Brathwaite, A. & Hills, C. (1997): Trace Organic Compounds in Landfill Gas at Seven U.D. Waste Disposal Sites. *Environmental Science and Technology*, **31**, 1084-1061.

Ames, B.N., McCann, J. & Yamasaki, E. (1975): Methods for detecting carcinogens and mutagens with the Salmonella/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutation Research.*, **31**, 347-363.

Andreae, M.O. & Crutzen, P.J. (1997): Atmospheric aerosols: biogeochemical sources and role in atmospheric chemistry. *Science*, **276**, 1052-1058.

Andres, R.J., & Kasgnoc, A.D. (1998): A time-averaged inventory of subaerial volcanic sulphur emissions, *Journal of Geophysical Research*, **103** (D19), 25,251-25,261.

Arutunov, V.S. & Krylov, O.V. (1998): Oxidative conversion of methane. Moscow, Nauka, 361pp.

Atkinson, R. (2000): Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, **34**, 2063-2101.

Baker, E.L., Smith, T. & Landrigan, P. (1985): The neurotoxicity of industrial solvents: a review of the literature. *American Journal of Industrial Medicine*, **8**, Issue 3, 207-217.

Barlaz, M.A. (1997). Microbial Studies of Landfills and Anaerobic Refuse Decomposition. Manual of Environmental Microbiology. Hurst, C.J., Knudsen, G.R., McInerney, M.J., Stetzenbach, L.D., Walter, M.V. American Society of Microbiology. ISBN 1-55581-087-X

Barletta, B., Meinardi, S., Simpson, I.J., Khwaja, H.A., Blake, D.R. & Rowland, S. (2002): Mixing ratios of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Karachi, Pakistan. *Atmospheric Environment*, **36**, 3429-3443.

Barletta, B., Meinardi, S., Rowland, F.S., Chan, C., Wang, X., Zou, S., Chan, L.Y. & Blake. (2005): Volatile organic compounds in 43 Chinese cities. *Atmospheric Environment*, **39**, 5979-5990.

Barry, D.L. (1986). "Methane and redevelopment". *House Builder* (Feb.), 35-36, 38.

Baubron, J., Mathieu, R. & Miele, G. (1991): Measurement of gas flow from soils in volcanic areas: the accumulation method. Napoli '91 International Conference on active volcanoes and risk mitigation. Abstract, 27 August-1 September 1991, Napoli, Italy.

Becker, Dan. (1997): *Global Warming Central: Debate numbers three*. Law library Pace University, Center for Environmental Legal Studies, QC981,8,G56 G56.

BEMA (Biogenic Emissions in the Mediterranean Area) Report (1994). (Enders, G. ed.), brussels, belgium, EUR Report 15955 EN.

BEMA (Biogenic Emissions in the Mediterranean Area) Report (1997). (Seufert, G. ed.), brussels, belgium, EUR Report 17336 EN.

Benoiston, Eric. (2006): Proyecto Final de Carrera: Inventario de emisiones atmosféricas debidas al tráfico rodado en España, con alta resolución espacial y temporal, para su aplicación en modelos de calidad del aire Inventario de emisiones atmosféricas debidas al tráfico rodado en España, con alta resolución espacial y temporal, para su aplicación en modelos de calidad del aire. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Proyectos de Ingeniería. 109pp.

Berdowski, J.J.M, Van der Auweraert, R.J.K. & Blom, J.C. (1996): *Emissies in nederland; trends, thema's en doelgroepen 1994 en ramingen 1995 publicatiereeks Emissieregistratie Nr.32*

Blundem, J., Aneja, V.P. & Lonneman, W.A. (2005): Characterization of non-methane volatile organic compounds at swine facilities in eastern North Carolina. *Atmospheric Environment*, **39**, 6707-6718.

Bode, K., Helas, G. & Kesselmeier, J. (1997): Biogenic contribution to atmospheric organic acids. In "Biogenic Volatile Organic Compounds in the Atmosphere" (Helas, G., Slanina, J. & Steinbrecher, R. ed.), pp. 157-170. SPB Academic Publishing: Amsterdam.

Boissard, C., Bongsan, B., Kanakidou, M. & Lambert, G. (1996): TROPOZ II: global distributions and budgets of methane and light hydrocarbons. *Journal Atmospheric Chemistry*, **25**, 115-148.

Boone, D.R. (2000). Biological Formation and Consumption of Methane. Atmospheric Methane: Its Role in the Global Environment. Khalil, M.A.K. ISBN 3540650997

Bonsang, B., Martin, D., Lambert, G., Kanakidou, M. & Le Rouley, J-C. (1991): Vertical distribution of nonmethane hydrocarbons in the remote marine boundary layer. *Journal Geophysical Research*. **96**, 7313-7324.

Bonsang, B. & Boissard, C (1999): Chapter 6: Global Distribution of Reactive hydrocarbons in the Atmosphere. In "Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere" (Hewitt, C.N. ed.) pp. 209-265. Institute of Environmental and Natural Sciences. Lancaster University. Lancaster, United Kingdom.

Borton, A., Locote, N., Veillot, M., Galloo, J.C. & Guillermo, R. (2002): Characterization of NMHCs in a French urban atmosphere: overview of the main sources. *The science of the Total Environment*, **292**, 177-191.

Bräutigam, M. & Kruse, D. (1992): Ermittlung der emissionen organischer lösemittel in der Bundesrepublik Deutschland. Federal Environmental Agency of Germany (ed.), Berlin, Research Report N° 104 04 116/01.

Brocco, D., Fratarcangeli, R., Lepore, L., Petrica, M. & Ventrone, I. (1997): Determination of aromatic hydrocarbons in urban air of Rome. *Atmospheric Environment*, **31**, 557-566.

Buhamra, S.S. (1998): The analysis of VOCs survey data from residences in Kuwait. *Environmetrics*, **9**, 245-53.

Buonicare, A.J, Davis W.T. (1992): Air pollution engineering manual. New York. Air and Waste Management Association, Van Nostrand Reinhold, 1992.

Calvert, J.G. & Madronich, S. (1987): Theoretical study of the initial products of the atmospheric oxidation of hydrocarbon. *Journal Geophysical Research*, **92**, 2211-2220.

Capaccioni, B., Martini, M., Mangani, F., Giannini., Nappi, G. & Prati, F. (1993): Light hydrocarbons in gas-emissions from volcanic areas and geothermal fields. *Geochemical Journal*, **27**, 7-17.

Capaccioni, B., Martini, M., Mangani, F. (1995): Light hydrocarbons in hydrothermal and magmatic fumaroles: hints of catalytic and thermal reactions. *Bulletin Volcanology*. **56**, 593-600.

Capaccioni, B., Tassi, F. & Vaselli O. (2001): Organic and inorganic geochemistry of low temperature gas discharges at the Baia di Levante beach, Vulcano Island, Italy, *J. Volcanology Geothermal Research*. **108**, 173-185.

Capaccioni, B., Taran, Y., Tassi, F., Vaselli, O., Mangani, G. & Macias, J.L. (2004): Source conditions and degradation processes of Light hydrocarbons in volcanic gases: an example from El Chichón volcano (Chiapas State, Mexico). *Chemical Geology*, **206**, 81-96.

Caravanos, J., Shen, T. (1984). The effect of wind speed on the emission rates of volatile chemicals from open hazardous waste dump sites. "Management of Uncontrolled Hazardous Wste Sites". Proc. 5th Conf., Washington, DC, USA, Nov. pp 68-71

Cardellini, C., Chiodini G., Frondini F., Granieri, D., Lewicki, J. & Peruzza, L. (2003a). Accumulation chamber measurements of methane fluxes: application to volcanic-geothermal areas and landfills. *Applied Geochemistry*, **18**, N°1, 45-54.

Cardellini, C., Chiodini G., Frondini F. (2003b): Application of stochastic simulation to CO₂ flux from soil: Mapping and quantification of gas release. *Journal of Geophysical Research*, **108**, B9, 2425.

Carlier, P., Hannachi, H. & Mouvier, G. (1986): The chemistry of carbonyl compounds in the atmosphere- a review. *Atmospheric Environment*, **20**, 2079-2099.

Carroll, M. R. & J. R. Holloway (1994): Volatiles in Magmas. *Revist. Mineral*, **30**, 500. Am. Mineral. Soc., Washington, D.C

Cetin, E. (2002): Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical plant. MS thesis. Izmir, Turkey: Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylul University, 2002.

Cetin, E., Odabasi, M. & Seyfioglu, R. (2003): Ambient volatile organic compound (VOC) concentrations around a petrochemical complex and a petroleum refinery. *The Science of the Total Environment*, **312**, 103-112.

Chameides, W.L., Lindsay, R.W., Richardson, J. & Kiang, C.S. (1988): The role of biogenic hydrocarbons in urban photochemical smog: Atlanta as a case study. *Science*, **241**, 1473-1475.

Chan, C.Y., Wang, X.M., Liu, Y.M., Lee, S.C., Zou, G.Y. & Fu, J.M. (2002): Volatile organic compounds in roadside microenvironments of metropolitan Hong Kong. *Atmospheric Environment*, **36**, 2039-2047.

Cheng, L., Fu, L., Angle, R.P. & Shandu, H.S. (1997): Seasonal variations of volatile organic compounds in Edmonton, Alberta. *Atmospheric Environment*, **31**, 239-246.

Chiampo, F., Conti, R., Cometto, D. (1996). Morphological characterisation of MSW landfills. *Resources, Conservation and Recycling* **17**, 37-45

Chiodini, G., Frondini, F. & Raco, B. (1996): Diffuse emission of CO₂ from the Fossa crater, Vulcano Island (Italy), *Bulletin of Volcanology*, **58**, 41-50

Chiodini, G., Cioni, R., Guidi, M., Raco, B. & Marini, L. (1998): Soil CO₂ flux measurements in volcanic and geothermal areas. *Applied Geochemistry*, **13**, N°5, 543-552.

Chiodini, G., Avino, R., Brombach, T., Caliro, E., Cardellini, C., de Vita, S., Frondini, F., Granirei, D., Marotta, E. & Ventura, G. (2004): Fumarolic and diffuse soil degassing west of Mount Epomeo, Ischia, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **133**, 292-309

Chock, D.P & Heuss, J.M. (1987): Urban ozone and its precursors. *Environmental Science and Technology*. **21**, 1146-1153.

Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E. & Frattoni, M. (1992): Use of carbon adsorption traps combined with high-resolution gas chromatography-mass spectrometry for the analysis of polar and non-polar C₄-C₁₄ volatile organic compounds involved in photochemical smog formation. *Journal High Chromatography. Chromatography Commun*, **15**, 75-84.

Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Cecinato, A. & Frattoni, M. (1993a): A method for the selective identification of volatile organic compounds (VOC) in air by GC-MS. In "Proceedings of the 15th Symposium on Capillary Chromatography", (Sandra, P. & Devos, G. eds), Vol. 2, Dr Huetig and Verlag: Heidelberg, Germany, 1029-1042.

Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Cecinato, A. & Brachetti, A. (1993b): Ubiquitous occurrence of semi-volatile carbonyl components in tropospheric samples and their possible sources. *Atmospheric Environment*, **27A**, 1891-1901.

Ciccioli, P., Brancaleoni, E., Cecinato, A., Sparapani, R. & Frattoni, M. (1993c): Identification and determination of biogenic and anthropogenic volatile organic compounds in forest areas of Northern and Southern Europe and remote site of the Himalaya region by high-resolution gas chromatography-mass spectrometry. *Journal Chromatography*, **643**, 55-69.

Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E., Brachetti, A., Frattoni, M. & Sparapani, R. (1994a): Composition and distribution of polar and non-polar VOCs in urban, rural, forest and remote areas. In "Physico-Chemical (Angeletti, G. & Restelli, G. eds.), Behaviour of Atmospheric Pollutants. Proceedings of the 6th European Symposium". EUR Report 15609/1. European Commission-DG XII. Brussels, Belgium, Vol. 1, 549-668.

Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E., Montagnoli, M. & Allegrini, A. (1994b): Chemical composition of particulate organic matter (POM) collected at Terra Novva Bay in Antarctica. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **55**, 47-59

Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E., Frattoni, M., Zacchei, P., Miguel, A.H. & de Castro Vasconcellos, P. (1996): Formation and transport of 2-nitrofluoranthene and 2-nitropyrene of photochemical origin in the troposphere. *Journal Geophysical Research*, **101**, 19567-19581.

Ciccioli, P., Brancaleoni, E. & Frattoni, M. (1999): Chapter 5: Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere at Urban and regional Scales. In "Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere" (Hewitt, C.N. ed.) pp. 159-207. Institute of Environmental and Natural Sciences. Lancaster University. Lancaster, United Kingdom.

Claxton, L.D., Creason, J., Leroux, B., Agurell, E., Bagley, S., Bryant, D., Courtois, Y., Douglas, G., Clare, C., Goto, S., Quillardet, P., Jagannath, D., Mohn, G., Nielsen, P., Onishi, Y., Ong, T., Pederson, T., Shimizu, H., Nylund, L., Tokiwa, H., Vink, I.G.R., Wang, Y. & Warshawski, D. (1992): Results of the IPCS Collaborative Study on Complex Mixtures," *Mutation Research*. **276**, 61-80.

Colon, M., Pleil, J.D., Hartlage, T.A., Guardan, M.L. & Martins, M.H. (2001): Survey of volatile organic compounds associated with automotive emissions in the urban airshed of Sao Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, **35**, 4017-4031.

CONAMA 2000, Comisión Nacional de Medio Ambiente, Gobierno de Chile, Directorio Ambiental, Teatinos 254 - 258.

Connor, C.B., Condit, C.D., Crumpler, L.S. & Aubele, J.C. (1992): Evidence of regional structural controls on vent distribution: Springerville volcanic field, Arizona. *Journal of Geophysical Research*, **97**, N° B9, 12349-12359.

CORINAIR (1997). Summary Report 1. European Emission inventory for Air Pollutants. Copenhagen: European Topic Centre on Air Emissions; European Environment Agency.

Corsi, R.L. & Card, T.R. (1991): Estimation of VOC emissions using the Baste model. *Environ Prog*, **10**, (4), 290-299.

Cossu, R. (1997): The multi-barrier landfill and related engineering problems. I Congreso Internacional sobre Gestion de Residuos en Islas. November 24-28, Puerto de la Cruz, Tenerife, Islas Canarias, Spain.

Coursimault, A., Donati, J. & Viellard, H. (1995a): La Pollution Atmospherique par Les Hydrocarburos Aromatiques Monocyclic a Paris. Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Emission & Controls, Paper No.257, Helsinki, Finland.

Crosby, DG. (1998): Environmental toxicology and chemistry. New York: Oxford University Press, 1998.

Cullis, C.F. & Hirschler M.M. (1989): Man's emissions of carbon monoxide and hydrocarbons into the atmosphere. *Atmospheric Environment*, **23**, 1195-1203

CTCI Corporation (1999). Carrying capacity management plan for air pollutants and estimation of emission inventory over Taiwan. Environmental Protection Administration, Taiwan, EPA-88-FA31-03-03-1059

Darling, W.G. (1998): Hydrothermal hydrocarbon gases: genesis and geothermometry. *Applied Geochemists*. **13**, 815- 824.

Derwent, R.G. (1995): Sources, Distributions and fates of VOCs in the Atmosphere. En Hester, R. (Editor). Volatile Organics Compounds in the Atmosphere. Cambridge, GBR: The Royal Society of Chemistry.

Derwent, R.G., Middleton, D.R., Field, R.A., Goldstone, M.E., Lester, J.N. & Perry, R. (1995): Analysis and interpretation of air quality data from an urban roadside location in central London over the period from July 1991 to July 1992. *Atmospheric Environment*, **29**, 923-946.

Derwent, R.G., Jenkin, M.E. & Saunders, S.M. (1996): Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions. *Atmospheric Environment*, **30**, 181-199.

Deutsch, C.V. & Journel A.G. (1998): GSLIB: Geostatistical Software Library and Users Guide, 2nd ed. Oxford University Press, New York, 369 pp.

Dionis, S., Dela Rosa, D.N., Lima, R.N., Nolasco, D., Salazar, J.M.L., Hernández, P.A. & Pérez, N.M. (2003): Non-controlled emission of VOCs from Arico's landfill, Tenerife, Canary Islands. American Geosciences Union, San Francisco, EE.UU, **84**, 114.

Directive 2000/69/EC of the European Parliament and of the Council of 16 November 2000 relating to limit values for benzene and carbon monoxide in ambient air. *Official Journal of the European Communities*, 13 December 2000.

Directive 2455/2001/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 establishing the list of priority substances in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC. *Off J Eur Communities L* **331**; 15/12/2001: 1-5.

Duffy, B.L. & Nelson, P.F. (1996): Non-methane exhaust composition in the Sydney Harbour tunnel: a focus on benzene and 1,3-butadiene. *Atmospheric Environment*, **30**, 2759-2768.

Ehhal, D.H., Rudolph, J., Meixner, F. & Schmidt, U. (1985): Measurements of selected C₂-O₅ hydrocarbons in the background troposphere: vertical and latitudinal variations. *Journal Atmospheric Chemical*, **3**, 29-52.

Eklund, B., Anderson, E.P., Walker, B.L. Burrows, D.B. (1998). Characterization of Landfill Gas Composition at the Fresh Kills Municipal Solid-Waste landfill. *Environ. Sci. Technol.* 1998, **32**, 2233-2237

EPA, (Environmental Protection Agency) (1988): Method TO14: determination of volatile organic compounds (VOCs) in air ambient using SUMMA passivated canister sampling and gas chromatographic analysis. In: Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic compounds in Ambient Air. EPA/600/4-89/017, Office of Research and development, Research triangle Park, NC, USA.

EPA, (Environmental Protection Agency). (1994): Air emissions models for waste and wastewater. Document EPA-453/R-94-080. Research Triangle Park, NC, USA: EPA Office of Air Quality Planning and Standards; 1994.

EPA, (Environmental Protection Agency). (1995a): Toxics criteria for those states not complying with Clean Water Act section 303(c)(2)(B). US Environmental Protection Agency: 40 CFR 131.36.

EPA, (Environmental Protection Agency). (1995b): Profile of the petroleum refining industry. Sector notebook project EPA Y310-R-95-013 SIC2911.EP A Office of Compliance, 1995.

EPA, (Environmental Protection Agency). (1999): National emission standards for hazardous air pollutants: publicly owned treatment works. US Environmental Protection Agency. Federal Register 1999, 64, 206, 57572.

EPA, (Environmental Protection Agency). (2002): Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-20000, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, USEPA 430-R-02-003, April 2002

EPA, (Environmental Protection Agency). (2003): Air Toxics List. <http://www.epa.org>

Erygit, O. (2000): Some organic air pollutants in Aliaga, Izmir. Unpublished MS Thesis, Institute of Graduate Studies in Science and Engineering, Dokuz Eylul university, Izmir, Turkey.

Escalas, A., Guadayol, J.M., Cortina, M., Rivera, J. & Caixach, J. (2003): Time and space patterns of volatile organic compounds in a sewage treatment plan. *Water Research*, **37**, 3913-3920.

Espina, S. & Vanegas, C. (1996): Ecofisiología y contaminación. En Botello AV, Rojas-Galaviz JL, Benítez JA, Zárata Lomelí D (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX. Serie Científica N°5. Universidad Autónoma de Campeche. México. 45-68.

Farquhar, G.J., and Rovers, F.A. (1973). Gas production during refuse decomposition *Water, Air, Soil Pollut.* **2**, 483-495

FCI. (Fonds der chemischen Industrie) (1987): Fonds der chemischen Industrie (ed), folienserie 22- Umweltbereich Luft. Frankfurt/Main, Germany.

Fernández-Martínez, G., López-Mahía, P., Muniategui-Lorenzo, S., Prada-Rodríguez, D. & Fernandez-Fernandez, E. (2001): Measurement of volatile organic compounds in urban air of La Coruña, Spain. *Water, Air and Soil Pollution*, **129**, 267-288.

Figueruelo, J.E. & Marino, M, (2001): Química Física del Medio Ambiente, Ed, Reverte S,A, México.

Filipy, J., Rumburg, B., Mount, G., Westberg, H. & Lamb, B. (2005): Identification and quantification of volatile organic compounds from a dairy. *Atmospheric Environment*, **40**, 1480-1494.

Finlayson-Pitts, B.J. & Pitts J.N. (1997): Tropospheric Air Pollution: Ozone, Airborne Toxics, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Particles. *Science*, **276**, 1045-1051.

Friedrich, R. & Obermeir, A. (1999). Chapter 1: Anthropogenic Emissions of Volatile Organic Compounds. In "Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere" (Hewitt, C.N. ed.) pp. 1-39. Institute of Environmental and Natural Sciences. Lancaster University. Lancaster, United Kingdom.

Frischer, M., Garofalo, K., Hansteen, T. H. & Borchers, R. (2006): Fluxes and origin of halogenated organic trace gases from Momotombo volcano (Nicaragua). *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 7, N° 5.

Gandola, M., Grabner, E., and Leoni, R. (1981). Möglichkeiten der Gasnutzung an Deponien unter besonderer Berücksichtigung kleiner Deponien (Possibilities of landfill gas utilisation with particular emphasis on small landfills). *ISWA J.* 31/31, 13-22.

Galimov, E.M. (1988): Sources and mechanisms of formation of gaseous hydrocarbons in sedimentary rocks. *Chem. Geol.*, 71, 77- 95.

Galindo, I. (2006): PhD: Estructura Volcano-Tectónica y Emisión Difusa de Gases de Tenerife (Islas Canarias). Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona: 350pp.

Graf, H.-F., Feichter, J. & Langmann B. (1997): Volcanic sulphur emissions: Estimates of source strength and its contribution to the global sulphate distribution, *Journal Geophysical Research*, 102, (D9), 10727-10738.

Gee, I.L. & Sollars, C. J. (1998): Ambient air levels of volatile organic compounds in Latin American and Asian cities. *Chemosphere*, 36, issue 11, 2497-2506.

Gerlach, T.M. & Graeber, E.J. (1985): Volatile budget of Kilauea volcano. *Nature*, 313, 273-277.

Gerlach, T.M. & Taylor, B.E. (1990): Carbon isotope constraints on degassing of carbon dioxide from Kilauea volcano. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 2051-2058.

Gerlach, T.M. (1990): Natural sources of Greenhouse gases: CO₂ emissions from volcanoes. *Geothermal Resources Council Transactions*, 14, 639-641.

Gertler, A.W., Fujita, E.M., Pierson, W.R. & Witorfe, D.N. (1996): Apportionment of NMHC tailpipe vs non-tailpipe emission in the fort McHenry

and Tuscarora mountain tunnels. *Atmospheric Environment*. **30**, N° 12, 2297-2305.

Giggenbach, W.F. (1980): Geothermal gas equilibrium. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **44**, 2021-2032.

Giggenbach, W.F. (1987): Redox processes governing the chemistry of fumarolic gas discharges from White Island. New Zealand. *Applied Geochemistry*, **2**, 143-161.

Giggenbach, W.F. (1992): The composition of gases in geothermal and volcanic systems as a function of tectonic setting. Proceedings of the International Symposium of Water-rock Interaction, Balkema, Rotterdam, **7**, 873-878.

Girelli, A. (1969): Petrolio e petrolchimica. In: Zanichelli, A. (Ed.). *Trattato di chimica industriale e applicata*, **2**, 929- 1126.

Golfinopoulos, S.K., Kostopoulou, M.N. & Lekkas, TD. (1998): Volatile halogenated organics in the water supply system in Athens, Greece. *Water Res*, **32**, 1811-1818.

Goovaerts, P. (2001): Geostatistical modelling of uncertainty in soil science. *Geoderma*, **103**, 3-26.

Govind, R., Lai, L. & Dobbs, R. (1991): Integrated model for predicting the fate of organics in wastewater treatment plants. *Environ Prog*, **10**(1), 13-23.

Grennfelt, P., Saltbones, J. & Schjoldager, J. (1988): Oxidant data Collection in OECD Europe 1985-1987 (OXIDATE). Report on ozone, nitrogen dioxide and peroxyacetyl nitrate. October 1985-March, April, September 1986. Norwegian Institute for Air Research, Lillestrom, Norway, NILU report OR 31/88.

Grollinger, Y. (1987). L'installation et la protection des décharges de déchets ménagers (Setting up of and safety at domestic landfills). *Beswa Revue* (Belgium) (5), 7-12

Grosjean, E. & Grosjean, D. (1998): Gas-phase reactions of alienes with ozone: formation yields of primary carbonyls and biradicals. *Environmental Science and Technology*, **31**, 2421-2427.

Gudmundsson, A. (1999): Fluid pressure and stress drop in fault zones. *Geophysical Research Letters*, **25**, 115-118.

Gudmundsson, A. & Marinoni, L.B. (1999): Geometry, emplacement, and arrest of dykes. *Annales Tectonicae*, **13**, N° 1-2, 72-92.

Guicherit, R. (1997): Traffic as a source of volatile hydrocarbons in ambient air. *The Science of the Total Environment*, **205**, 201-213.

Guo, H., Wang, T., Simpson, I.J., Blake, D.R., Yu, X.M., Kwok, Y.H. & Li, Y.S. (2004): Souerce contributions to ambient VOCs and CO at a rural site in eastern China. *Atmospheric Environment*, **38**, 4551-4560.

Gurijala, K.R., Sa, P. Robinson, J.A. (1997) Statistical Modeling of Methane Production from Landfill Samples. *Applied and Environmental Microbioogy*, Oct, 3797-3803

Haagen-Smit, A.J. 1952. Chemistry and physiology of Los Angeles smog. *Ind. Eng. Chem.* **44**,1342-1346.

Halmer, M., Schmincke, H.U. & Graf, H.F. (2002): The annual volcanic gas input into the atmosphere, in particular into the stratosphere: A global data set for the past 100 years. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **115**, 511-528.

Haszpra, L. (1991): Non-methane hydrocarbon and aldehyde measurements in Budapest, Hungary. *Atmospheric Environment*, **25A**, N° 10, 2103-2110.

Haszpra, L., Szilágyi, I., Demeter, A., Turányi, T. & Bérces, T. (1994): Non-methane Hydrocarbon and aldhehyde measurements in Budapest, Hungary. *Atmospheric Environment*, **28**, 2609-2614.

Helmig, D., Pollock, W., Greenberg, J. & Zimmerman, P. (1996): Gas chromatographic mass spectrometry analysis of volatile organic trace gases at Mauna Loa Observatory, Hawaii. *J. Geophys. Res.*, **101**, 14697-14710.

Hernández, P.A., Notsu, K., Salazar, J.M., Mori, T., Natale, G., Okada, H., Virgili, G., Shimoike, Y., Sato, M. & Pérez, N.M. (2001a): Carbon dioxide degassing by advective flow from Usu volcano, Japan. *Science*, **292**, 83-86.

Hernández, P.A., Salazar, J., Shimoike, Y., Mori, T., Notsu, K. & Pérez, N.M. (2001b): Diffuse emission of CO₂ from miyakejima volcano, Japan. *Chemical Geology*, **177**, 175-185.

Hewitt, C.N. (1999): Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere, 322 pp.

Higashihara, M., Igari, S., Maekawa, T., Tetsuro, N., Sakata, S., Asada, N. & Miyatake, A. (1997). C5 hydrocarbons in fumarolic gases from the Kakkonda (Takinoue) Geothermal area, Japan. *Geochem. J.*, **31**, 63-73.

Hinkle, M. & Kilburn, J. (1979): The use of vacutainer tube for collection of soil sample for helium analysis. U. S. *Geol. Surv. Open File Rep.*, **79**, 1441

Ho, K.F. & Lee, S.C. (2002): Identification of the atmospheric volatile organic compounds (VOCs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and carbonyl compounds in Hong Kong. *The Science of the total Environment*, **289**, 145-158.

Hoatcher, H.A., Wright, P.A. (1988). Landfill gas: site licensing and risk assessment. Alston, Y.R., Richards G.E. (1989). "Landfill Gas and Anaerobic Digestion of Solid Waste. Proc. Conf., Chester, UK, Oct. pp. 100-125

Howard, PH. (1991): Handbook of environmental fate exposure data for organic chemicals. USA: Lewis Publishers, 1991.

Hunt, J.M. (1984): Generation and migration of light hydrocarbons. *Science*, **226**, 1265-1270.

Hunt, J.M. (1996): Petroleum Geochemistry and Geology. W. H. Freeman and company, San Francisco.

Hwa, M.Y., Hsieh, C.C., Wu, T.C. & Chang, L.F.W. (2002): Real-world vehicle emissions and VOCs profile in the Taipei tunnel located at Taiwan Taipei area. *Atmospheric Environment*, **36**, 1993-2002.

IKW (1992): Industrierverband Körperpflege-und Waschmittel e.V., Frankfurt/Main, Germany. In Chapter 1: Anthropogenic Emission of Volatile Organic Compound. In “Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere” (Hewitt, C.N. ed.) pp. 1-39. Institute of Environmental and Natural Sciences. Lancaster University. Lancaster, United Kingdom.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2001: The Scientific Basis; J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Climate Change 2007: Synthesis Report, Ginebra, Suiza, 2007.

IPP (1992): industrierverband Putz- und Pflegemittel e.V. Frankfurt/Main, Germany. In Chapter 1: Anthropogenic Emission of Volatile Organic Compound. In “Reactive Hydrocarbons in the Atmosphere” (Hewitt, C.N. ed.) pp. 1-39. Institute of Environmental and Natural Sciences. Lancaster University. Lancaster, United Kingdom.

Isidorov, V. A., Zenkevich, I.G. & Ioffe, B.V. (1985): Volatile organic compounds in the atmosphere of forests. *Atmospheric Environment*, **19**, 1-8.

James, A.N., Fullerton, D. & Drake, R. (1997): Field performance of GCL under ion exchange conditions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **123**(10), 897-901.

John, C., Friedrich, R., Staehelin, J., Schlapfer, K. & Stahel, W.A. (1999): Comparison of emission factors for road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland) and from emission modelling. *Atmospheric Environment*, **33**, 3367-3376.

Johnson, D.O., Flynn, N.W., Lythygywshyn, G.R. (1982). Landfill methane recovery. Part II: Gas Characterization. Rept. N° 8110105.

Jordan, A., Harnisch, J., Borchers, R., Le Guern, F. & Shinohara, H. (2000), Volcanogenic halocarbons. *Environ. Sci. Technol.*, **34**(6), 1122-1124.

Jordan, A. (2003): Volcanic formation of halogenated organic compounds. *The Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 3, part P, edited by G. W. Gribble, pp. 121-139, Springer, New York.

Kalabokas, P.D., Hatzaiianestis, J., Bartzis, J.G. & Papagiannakopoulos, P. (2001): Atmospheric concentrations of saturated and aromatic hydrocarbons around a Greek oil refinery. *Atmospheric Environment*, **35**, 2545 -2555.

Kawashima, H., Minami, S., Hanai, Y. & Fushimi, A. (2006): Volatile Organic Compound Emission Factors from Roadside Measurements. *Atmospheric Environment*, **40**, 2301-2312.

Kean, A.J., Grosjean, E., Grosjean, D. & Harley, R.A. (2001): On-road measurement of carbonyls in California Light-Duty Vehicle Emissions. *Environmental Science & Technology* **35**, 4198-4204.

Kim, Y.P., Kim, J.Y., Ghim, Y.S. & Na, K. (1997): Ambient concentrations of volatile organic compounds in Seoul. *Environmental Research Forum*, **7-8**, 265-269.

Kim, K-H., Kim, M.Y. & Lee, G. (2001): The soil-air exchange characteristic of total mercury from a large scale municipal landfill area. *Atmospheric Environment*, **35**, 3475-3493.

Kim, K-H., Baek, S.O., Choil, Y-J., Sunwoo, Y., Jeon, E.C. & Hong, J.H. (2006): The emission of major aromatic VOC as landfill gas from urban landfill sites in Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, **118**, 407-422.

Kim, K-H., Shon, Z-H., Kim, M-Y., Sunwoo, Y., Jeon, E-C. & Hong, J-H. (2008): Major aromatic VOC in the ambient air in the proximity of an urban landfill facility. *Journal of Hazardous Materials*, **150**, 754-764.

Kirchstetter, T.W., Haeley, R.A., Kreisberg, N.M., Stolzenburg, M.R. & Hering, S.V. (1999): On-road measurements of fine particle and nitrogen oxide

emissions from light- and heavy- duty motor vehicles emissions. *Atmospheric Environment*, **33**, 2955-2968

Knox, K., 1990. Report to the UK Department of the Environment, Contract PECD 7/10/213.

Kurtenbach, R., Becker, K. H., Gomes, J. A. G., Kleffmann, J., Lorzer, J. C., Spittler, M., Wiesen, P., Ackermann, R., Geyer, A., & Platt, U.(2001): Investigations of emissions and heterogeneous formation of HONO in a road traffic tunnel, *Atmospheric Environment*, **35**, 3385–3394.

Kiyosu, Y., Asada, N. & Yoshida, Y. (1992): Origin of light hydrocarbon gases from the Matsukawa geothermal area in Japan. *Chem. Geol.*, **94**, 321– 329.

Knoepfel, H. & Schauenburg, H. (1989): Screening of house hold products for the emission of volatile organic compounds. *Environ. Int.*, **15**, 413-418.

Krupa, S.V. & Manning, W.J. (1988): Atmospheric ozone: Formation and effects on vegetation. *Environmental Pollution*, **50**, 101-137.

La Regina, J., Bozzelli, J. W., and Harkov, R. & Gianti, S.Jr. (1986): Volatile Organic Compounds at Hazardous Waste Sites and A Sanitary Landfill in New Jersey. An up-to-date Review of the Present Situation. *Environ. Progress*, **5**, 18-27.

Large, P.J. (1983). Aspects of Microbiology 8: Methylophony and Methanogenesis. American. ISBN: 0-914826-52-2

Lashof, Dan. (1997): Global Warming Central: Debate number three. Law library Pace University, Center for Environmental Legal Studies, QC981,8,G56 G56.

Laurén, D.J. & Rice, S.D. (1985): Significance of active and passive depuration in the clearance of naphthalene from tissues of *Hemigrapsus nudus* (Crustacea: Decapoda). *Marine Biology*, **88**, 135-142.

Laurila, T. & Hakola, H. (1996): Seasonal cycle of C2-C5 hydrocarbons over the Baltic Sea and Northern Finland. *Atmospheric Environment*, **30**, 1597-1607.

Lean, J.L. & Rind, D.H. (2008): How natural and anthropogenic influences alter global and regional surface temperatures: 1889 to 2006. *Geophysical Research Letters*, **35**, no18, [Note(s): L18701.1-L18701.6] (1/4 p.)

Lee, S.C., Chiu, M.Y., Ho, K.F., Zou, S.C. & Xinming, W. (2002): Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of Hong Kong. *Chemosphere*, **48**, 375-382.

Lekkas, TD. (1996): Environmental engineering I: management of water resources. Mytilene, Greece: University of the Aegean, Department of Environmental Studies, 1996.

Lerdau, M.T., Guenther, A. & Monson, R. (1997): Plant production and emission of volatile organic compounds. *BioScience*, **47**, 373-383

LEY 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. BOE núm.

Lima, R.N., Dionis, S., Salazar, D., Hernández, P.A., Salazar, J.M.L. & Pérez, N. (2003): Emisiones biogénicas, no-controladas a la atmósfera de COVs procedentes del vertedero de Arico, Tenerife, Islas Canarias. 1er Congreso de Estudiantes de la Facultad de Química, 1,72.

Lin, T., Sree, U., Tseng, S., Chiu, K.H., Wu, C. & Lo, J. (2004): Volatile organic compound concentration in ambient air of Kaohsiung petroleum refinery in Taiwan. *Atmospheric Environment*, **38**, 4111-4122.

Liu, C., Xu, Z. & Guo, H. (2000): Analyses of volatile organic compounds concentrations and variation trends in the air of Changchun, the northeast of China. *Atmospheric Environment*, **348**, 4459-4466.

Lonneman, W.A., Kopczynski, S.L., Darley, P.E. & Sutterfield, F.D. (1974) : Hydrocarbons composition of urban air pollution. *Environmental Science and Technology*, **8**, 229-236

Loneman, W.A., Sella, R.L. Meeks, S.A. (1986): Non-methane organic composition in the Lincoln Tunnel. *Environmental Science and Technology*, **20**, 790-796.

Mackie, R.I., Stroot, P.G. & Varel, V.H. (1998): Biochemical identification and biological origin of key odour components in livestock waste. *Journal of Animal Science*, **76**, 1331-1342.

Manna, L., Zanetti, M.C., Genon, G. (1999). Modeling biogas production at landfill site. *Resources, Conservation and Recycling* **26**, pp 1-14

Mango, F.D. (2001): Methane concentrations in natural gas: the genetic implication. *Org. Geochem.*, **32**, 1283- 1287.

Martini, M. (1993): Gases Volcánicos. En: *La Volcanología Actual. Nuevas Tendencias*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, v. 21: p. 387-444.

Matsuo, S. (1960): On the origin of volcanic gases. *Journal of Earth Science*, **8**, 222-245.

McDonald, R.C. & Fall, R. (1993): Acetone emission from conifer buds. *Phytochemistry*, **34**, 991-994.

McGaughey, G. R., Desai, N. R., Allen, D. T., Seila, R. L., Loneman, W. A., Fraser, M. P., Harley, R., Ivy, J. & Price, J. (2004). Analysis of motor vehicle emissions in as Houston tunnel during the Texas Air Quality Study 2000. *Atmospheric Environment*, **38**, 3363-3372.

McGee, K.A., Gerlach, T.M., Kessler, R. & Doukas, M.P. (2000): Geochemical evidence for a magmatic CO₂ degassing event at Mammoth Mountain, California, September-December 1997. *Journal of Geophysical Research*, **105**, N° B4, 8447-8456.

McInnes, G. (1996). Joint EMEP/CORINAIR atmospheric emission inventory guidebook, 1st Ed. European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.

McKay, W.A., Turner, M.F., Jones, M.R. & Halliwell, C.M. (1996): Emissions of hydrocarbons from marine phytoplankton-some results from controlled laboratory experiments. *Atmospheric Environment*, **30**, 2583-2593.

Melcer, H., Bell, J.P., Thompson, D.J., Yendt, C.M., Kemp, J. & Steel, P. (1994): Modeling volatile organic contaminants in wastewater treatment plants. *J Environ Eng*, **120**(3), 588-609.

Melián, G. (2008) PhD: Emisión difusa de dióxido de carbono y otros volátiles en el volcán Poás, Costa Rica, America Central. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna, 442 pp.

Millán, M.M., Townsend S.J. & Davies J.H. (1969): Univ. Toronto, UTIAS Report, No.146

MOE (Ministry of Environment, Korea) (2001). Environment White paper. Seoul, Korea.

Moffat, A.J. & Millán M.M. (1971): The Applications of Optical Correlation Techniques to the Remote Sensing of SO₂ Plumes Using Sky Light. *Atmospheric Environment*, **5**, 677-690

Mohamed, M.F., Kang, D. & Aneja, V.P. (2002): Volatile organic compounds in some urban locations in the United States. *Chemosphere*, **47**, Issue 8, 863-882.

Moschonas N. & Glavas, S. (1996). C₃-C₁₀ hydrocarbons in the atmosphere of Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, **30**, 2769-2772.

Mount, G.H., Rumburg, B., Havig, J., Lamb, B., Westberg, H., Yonge, D., Johnson, K. & Kincaid, R. (2002): Measurement of atmospheric ammonia at a dairy using differential optical absorption spectroscopy in the mid-ultraviolet. *Atmospheric Environment*, **36**, 1799-1810.

Muezzinoglu, A., Odabasi, M. & Onat, L. (2001): Volatile Organic compounds in the air of Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, **35**, 753-760.

Mugica V., Vega E., Arriaga J.L. & Ruíz S. M.E. (1998): Determination of motor vehicle profiles for Non-Methane Organic Compounds in the Mexico City Metropolitan Area (MCMA). *Journal Air & Waste Management Ass*, **48**, 1060-1068.

Müller, K., and Rettenerger, G. (1987). Anleitung zur Entwicklung sicherheits-technischer Konzepte für Gasabsauge- und Gasverwertungsanlagen an Mülldeponien (Guide line for the development of technical safety concepts for gas extraction and valorisation facilities on solid waste landfills). *Müll Abfall*, **19** (2), 37-38, 40-46

Na, K., Kim, Y.P. & Ghim, Y.S. (1998): Concentrations of C2-C9 volatile organic compounds in ambient air in Seoul (in Korean). *Journal of Korean Air Pollution Research Association*, **14**, 95-105.

Na, K., Kim, Y.P., Moon, K.C., Il, M. & Kochy, F. (2001): Concentration of volatile organic compounds in an industrial area of Korea. *Atmospheric Environment*, **35**, 2747-2756.

Na, K & Kim, Y.P. (2001): Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea. *Atmospheric Environment*, **35**, 2603-2614.

Na, K., Kim, Y.P. & Moon, K.C. (2002): Seasonal variation of the C2-C9 hydrocarbons concentrations and compositions emitted from motor vehicles in a Seoul tunnel. *Atmospheric Environment*, **36**, 1969-1978.

Na, K., Kim, Y.P. & Moon, K.C. (2003): Diurnal characteristics of volatile organic compounds in the Seoul atmosphere. *Atmospheric Environment*, **37**, 733-742.

Nagornov, V., Pugliese, N.I., Calvo, C.A. & Clemente, M.A. (2005): Contaminación del aire por emisiones vehiculares, 2005. *Latinamerican Journal of Sciences and Engineering*, **1**, N° 2

Ndon, U.J., Randall, A.A. & Khouri, T.Z. (2000): Reductive dechlorination of tetrachloroethylene by soil sulfate-reducing microbes under various electron donor conditions. *Environ Monit Assess*, **60**:329–36.

Newcomb, G. & Millán, M.M. (1970): Theory, applications and results of the long-line correlation spectrometer. *IEEE Trans. Geosci. Electron.*, **8**, 149–157.

Nielsen, T., Jorgesen, H.E., Larsen, J. Chr. & Poulsen, M. (1996): City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects. *Science Total Environment*, **189-190**, 41pp.

Nikolaou, A.D., Golfinopoulos, S.K., Kostopoulou, M.N., Kolokythas, G.A. & Lekkas, T.D. (2002): Determination of volatile organic compounds in surface waters and treated wastewater in Greece. *Water Research*, **36**, 2883–2890.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health (1997): Pocket Guide to Chemical Hazards. Endosulfan. U.S. Department of Health and Human Services.

Nizich, S.V, Pierce, T., Hohenstein, W. & Pechan, E.H. (1995): US-EPA. National air pollutant trends, 1900–1994: Research Triangle Park, N.C., U.S. Environmental Protection Agency Report EPA-454/R-95-011, 219 p.

Nolasco, D. (2002): PhD. Emisiones biogénicas “NO” controladas a la atmósfera por el vertedero de Lazareto, Santa Cruz de Tenerife, Islas Canarias. Universidad de La Laguna. 145pp.

Nolasco, D., Dionis, S., de la Rosa, D., Lima, R.N, Salazar, J.M.L., Hernández, P.A. & Pérez, N.M. (2003a): Emisiones de COVs a la atmósfera procedente del tráfico de vehículos por carretera en Santa Cruz de Tenerife. 1^{er} Congreso de Estudiantes de la Facultad de Química, 1,78. ISBN: 84-96168-27-1.

Nolasco, D., Mena, A., Dionis, S., Lima, R.N, Salazar, J.M.L., Hernández, P.A. & Pérez, N.M. (2003b): Monitorización de los niveles de inmisión de COVs en el aire ambiente y su relación con la altura en la isla de Tenerife. 1^{er} Congreso de Estudiantes de la Facultad de Química, 1,47. ISBN: 84-96168-27-1.

Nolasco, D., Mena, A., Hernández, B., Lima, R.N, Salazar, J.M.L., Hernández, P.A. & Pérez, N.M. (2003c): Monitorización de los niveles de inmisión de COVs en el aire ambiente de la isla de Tenerife. 1^{er} Congreso de Estudiantes de la Facultad de Química, 1,46. ISBN:84-96168-27-1.

Nolasco, D., Gómez, L., Salazar, P., Calvo, D., Galindo, I., Melián, G., González, P., Padrón, E., Pérez, V., Hernández, P.A. & Pérez, N.M. (2004): VOCs emission to the atmosphere from the summit cone of Teide volcano, Tenerife, Canary Island. International Symposium “Reducing Volcanic Risk in Islands”, 72. CD de abstracts.

Nolasco, D., Pérez, V., Coello, C., Melián, G., Galindo, I., Padrón, E., Marrero, R., Salazar, P., González, P., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2005a): BTEX emissions to the atmosphere from road traffic in Tenerife, Canary Island, Spain. European Geosciences Union, Viena, Austria. N° de abstract: EGU05-A-07422.

Nolasco, D., Coello, C., Pérez, V., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2005b): Non-controlled biogas and VOCs emission to the atmosphere from Arico's landfill at Tenerife, Canary Island, Spain. European Geosciences Union, Viena, Austria. N° de abstract: EGU05-A-07509.

Nolasco, D., Melián, G., Marrero, R., Calvo, D., Coello, C., Padrón, E., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2006a): VOCs emission to the atmosphere from road traffic at Tenerife, Canary Islands. 6^o Congreso Internacional de Química de la ANQUE, 569. ISBN: 84-690-2349-7.

Nolasco, D., Hernández, M^a del C., Triguero, M., del Pino, M^a del M., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2006b): Non-controlled VOCs emissions to the atmosphere from landfills. 6^o Congreso Internacional de Química de la ANQUE, 568. ISBN:84-690-2349-7.

Nolasco, D., Melián, G., Rancel, N., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2006c): VOCs emission to the atmosphere from sewage treatment plant. 6^o Congreso Internacional de Química de la ANQUE, 566. ISBN: 84-690-2349-7.

Nolasco, D., Melián, G., Martín, J., Rodríguez, P., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2006d): Emisión difusa de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) a la atmósfera por sistemas volcánicos e hidrotermales activos. "Proceedings de la 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica". Sevilla (España). CD de abstracts.

Nolasco, D., Melián, G., Martín, J., Rodríguez, P., Hernández, P. A., Pérez, N.M., Avino, R., Chiodini, G. & Strauch, W. (2006e): Diffuse VOCs emission from volcanic and geothermal systems: Teide (Canary Islands), Cerro Negro (Nicaragua), and Solfatara (Italy). Garavolcan, 300th Anniversary Volcano International Conference Commemorating the 1706 Arenas Negras Eruption. Garachico, España

Nolasco, D., Sanchez, J.A., León, F.O., Melián, G., Rancel, N., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2007): Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) a la atmósfera desde Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR). 6º Congreso Ibérico de Geoquímica, 172. ISBN:987-972-669-806-7.

Nolasco, D., Lima, R.N., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2008): Non-controlled emission of CO₂ and CH₄ to the atmosphere from Lazareto landfill, Tenerife, Canary Islands. *Science and Pollution Research*, **15**, 1, 51-60.

NRC (National Research Council). (2003): Air emissions from animal feeding operations: current knowledge, future needs final report. Available online at <http://www.hap.edu/books/0309087058.html>.

Nyns, E.J. (1986). "Biomethanation proceses". In "Biotechnology", H.J. Rehm and G. Reed, Eds. Vol. 8 "Microbial degradations", W. Schönborn, Ed., pp. 207-267. VCH Verlag, Weinheim, Fed. Rep. Germany. ISBN 0 89573 048 0.

Obermeier, A., Friedrich, R., Seier J.CH., Vogel, H., Fiedler, F. & Vogel, B. (1995): Landsberg: ecomed, - ISBN 3-609-65320-5.

O'Connor, D. J. (1983): Wind effects on gas-liquid transfer coefficients. *ASCE. J. Environmental Engineering*, **109**, 731.

Odum, J.R., Hoffmann, T., Bowman, F., Collins, D., Flagan, R.C., & Seinfeld, J.H. (1996). Gas/particle partitioning and secondary organic aerosol yields. *Environmental Science Technology*, 30, 2580-2585.

Odum, J.R., Jungkamp, T.P.W., Griffin, R.J., Forstner, H.J.L., Flagan, R.C., & Seinfeld, J.H. (1997a): Aromatics, reformulated gasoline, and atmospheric organic aerosol formation. *Environmental Science Technology*, 31, 1890-1897.

Odum, J.R., Jungkamp, T.P.W., Griffin, R.J., Flagan, R.C., & Seinfeld, J.H. (1997b): The atmospheric aerosol-forming potential of whole gasoline vapor. *Science*, 276, 96-99.

Orchard, B.J., Doucette, W.J., Chard, J.K. & Bugbee, B. (2000): A novel laboratory system for determining fate of volatile organic compounds in planted systems. *Environ Toxicol Chem*, 19, 888-94.

Padrón, E. (2008) PhD: Emisión difusa de dióxido de carbono y otros volátiles en el volcán Cumbre Vieja, La Palma, Islas Canarias. Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna. 499 pp.

Pandis, S.N., Paulson, S.E., Flagan, R.C. & Seinfeld, J.H. (1991): Aerosol formation in the photooxidation of isoprene and β -pinene. *Atmospheric Environment*, 25A, 997-1008.

Pankow, J.F., Luo, W., Bender, D.A., Isabelle, L.M., Hollingsworth, J.S., Chen, C., Asher, W.E. & Zogorski, J.S. (2003): Concentrations and co-occurrence correlations of 88 volatile organics compounds (VOCs) in the ambient air of 13 semi-rural to urban locations in the United States. *Atmospheric Environment*, 37, Issue 36, 5023-5046.

Pardeiro, A.M., Monzon, A. & Vega, L.A. (2006): Estrategia de movilidad en Madrid y reforma de la M-30. I Congreso Internacional Los Ciudadanos y la Gestión de la Movilidad. Madrid, España, 25 septiembre 2006.

Parkinson, K. (1981): An improved method for measuring soil respiration in the field. *Journal Applied Ecology*, 18, 221-228.

Parra, M.A., Gonzalez, L., Elustondo, D., Garrigó, J., Bermejo, R. & Santamaría, J.M. (2006): Spatial and temporal trends of volatile organic compounds (VOC) in a rural area of northern Spain. *Science of the Total Environment*, 370, 157-167.

Pauss, A., Naveau, H., and Nns, E.-J. (1987). "Biogas production". In "Biomass: Regenerable Energy" D.O. Hall, and R.P. Overend, Eds., Wiley, Chichester, UK, pp. 273-291. ISBN 0 471 90919 X.

PEIT. (2005): Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005. Ministerio de Fomento. Documentación oficial del Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte.(<http://peit.cedex.es/>).

Pena, J.R. (1985). Landfill gas processing techniques. Rept. To be obtd. From author. Address: Getty Synthetic Fuels, Inc., Singal Hill California 90801, USA.

Peñuelas, J. (1996): Efects globals dels incendis II: contribució del foc a l'alteració de la composició del atmosfera. Paginas: 193-194en J: Terradas (editor). Ecologia del foc. Proa. Barcelona

Peñuelas, J. & Lluisa, J. (2002): Linking photorespiration, monoterpenes and termotolerance in *Quercus ilex*. *New Phytologist* 155; 227-237.

Perez, V., Nolasco, D., Melian, G., González, C., Cañadas, F., Plata, A., Calvo, D., Olmos, R., Barahona, F., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2005a): Diffuse VOCs degassing from the summit cone of Teide volcano, Tenerife, Canary Island, Spain. European Geosciences Union, Viena, Austria. N° de abstract: EGU05-A-07866.

Perez, V., Nolasco, D., Melián, G., González, C., Cañadas, F., Plata, A., Calvo, D., Olmos, R., Barahona, F., Hernández, P. A. & Pérez, N.M. (2005b): Diffuse VOCs degassing from the summit cone of Teide volcano, Tenerife, Canary Island, Spain. IAVCEI Commission of the Chemistry of Volcanic Gases. CD de abstracts.

Pérez, N.M., Hernández, P.A., Padrón, E., Cartagena R., Olmos, R., Barahona, F., Melián, G., Salazar P., & López D.L. (2006): Anomalous diffuse CO₂ emission prior the January 2004 short-term unrest at San Miguel volcano, El Salvador, Central America. *PAGEOPH Topical Volume "Terrestrial fluids, earthquakes and volcanoes: The Hiroshi Wakita Volume I"*, **163**, 883-896.

Perry, R. & Gee, I.L. (1995): Vehicle emissions in relation to fuel composition. *Science of the Total Environment*, **169**, 149-156.

Pfeffer, H.U. (1994): Ambient air concentrations of pollutants at traffic-related sites in urban areas of North Rhine-Westphalia, Germany. *Science of the Total Environment*, **146/147**, 263-273.

Pierson, W.R., Gertler, A.W., Robinson, N.F., Sagebiel, J.C., Zielinska, B., Bishop, G.A., Stedman, D.H., Zweidinger, R.B. & Ray, W.D. (1996): Real-world automotive emissions- summary of studies in the Fort McHenry and Tuscarora mountain tunnels. *Atmospheric Environment*, **30**, 2233-2256.

Pincince, A. B. (1991): Transfer of oxygen and emissions of volatile organic compounds at clarifier weirs. *Research J. Water Pollut. Control Fed.*, **63**, 114.

Pollard, D.D. (1987): Elementary fracture mechanics applied to the structural interpretation of dykes. En: Halls, H.C. y Faring, W.F. (Eds.), Mafic dyke swarms. *Geological Association of Canada Special Paper*, **34**, 5-24.

PORG (1993): Ozone in the United Kingdom 1993. Third report of the united Kingdom Photochemical Oxidants review Group, department of the Environment, London.

Rabaud, N.E., Ebeler, S.E., Ashbaugh, L.L. & Flocchini, R.G., (2003): Characterization and quantification of odorous and non-odorous volatile organic compounds near a commercial dairy in California. *Atmospheric Environment*, **37**, 933-940.

Rappenglück, B. & Fabian, P. (1999): Nonmethane hydrocarbons (NMHC) in the greater Munich Are/Germany. *Atmospheric Environment*, **33**, 3843-3857.

Reinhart, D.R. (1993): A review of recent studies on the sources of hazardous compounds emitted from solid waste landfills: A U.S. experience. *Waste Management & Research*, 11, 257-268.

Rettenberger, G., (1978). "Origin, Consequences, Collection and Valorization of landfill gas). *Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft*, Band 9. Ed.: Inst. Siedlungswasserbau. Wassegüte-une Abfallwirtschaft der Universitat Stuttgart, Fed. Rep. Ger. Erich Schmidt Verlag, Bielefeld, Fed. Rep. Ger. ISBN: 3 503 01353 9. pp.36.

Rettenberger, G., (1979) "Research Results on the Gas Potential Landfill". Jäger, B., and Wiemer, Ic. (1980) "Present Landfill Technology". *Proc.Symp. Berlin. Oct (1979). Publ. As "Abfallwirtschaft an der Technischen Universitat Berlin". Bands Druckhaus Norden GmbH 1000 Berlin 21, ISBN. 3 922021 05 0. pp. 175-185.*

Rettenberger, G (1982). "Waste Disposal AD/D Waste Management" VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, Fed. Rep. Germany. ISBN 3 1 400528 3. Chap 7: "Die Geordnete Abfaldeponic" (Sanitary Landfill); Chap. 9: "Deponiegas" (Landfill Gas).

Rettenberger, G. (1984). Trace compounds in landfill gas. Consequences for gas utilization. Thomé-Kozmiesdy, D.J. (Ed.) (1984). "Recycling International". *Proc. Int. Congr. Berlin. EF (Freitag)-Verlag für Energie und Umwelttechnik, Publ., Berlin. ISBN 3 924511 05 5, pp. 217-221*

Rettenberger, G. (1986). Spurnstoffe im Deponiegas. Auswirkungen auf die Gasverwertung (Trace elements in landfill gas. Consequences for gas utilisation). *TIT Suppl. 1/86. Umwelt, 51-57.*

Rudolph, J. (1988): Two-dimensional distribution of Light hydrocarbons: results from the STRATON II experiment. *J. Geophys. Res.*, **93**, 8367-8377.

Rudolph, J., Khedim, A. & Bonsang, B. (1992a): Light hydrocarbons in the troposphere boundary layer over tropical Africa. *J. Geophys. Res.*, **97**, 6181-6186.

Rudolph, J., Khedim, A., Clarkson, T. & Wagenbach, D. (1992b): Long-term measurements of light alkanes and acetylene in the Antarctic troposphere. *Tellus*, **44B**, 252-261.

Sagebiel, J.C., Zielinska, B., Pierson, W.R. & Gertler, A.W. (1996). Real-world emissions and calculated reactivities of inorganic species from motor vehicles. *Atmospheric Environment*, **30**, 2287-2296.

Sakurai, T., Tanabe, K., Moriguchi, Y., Wakamatsu, S., Hoshi, J., Ishii, K., Nakamura, K. & Izumikawa, S. (2002): Volatile Organic Compound Emission Factors from Road Traffic in a Highway Tunnel in the Tokyo Metropolitan Area in Japan. *Journal of Japan Society of Air Pollution*, **37**, 47-74 (in Japanese with English abstract).

Salazar, J.M.L., Hernández, P.A., Pérez, N.M., Melián, G., Álvarez, J. & Notsu, K. (2001): Diffuse emission of carbon dioxide from Cerro Negro volcano, Nicaragua, Central America. *Geophysical Research Letters*, **28**, Nº 22, 4275-4278.

Salazar, J.M.L., Pérez, N.M., Hernández, P.A., Soriano, T., Barahona, F., Olmos, R., Cartagena, R., López, D.L., Lima, R.N., Melián, G., Galindo, I., Padrón, E., Sumino, H. & Notsu, K. (2002): Precursory diffuse carbon dioxide degassing signature related to a 5.1 magnitude earthquake in El Salvador, Central America. *Earth and Planetary Science Letters*, **205**, 81-89.

Samuels, M.L. (1989): Statistics for life sciences. Collier MacMillan Canada Inc.

Sandermann, H., Wellburn, A.R. & Heath, R.L. (1997): Forest decline and Ozone: Synopsis. En: Sandermann H., Wellburn, A.R. & Heath R.L. (Eds). Forest decline and Ozone. A comparison of controlled Chamber and field Experiments. Springer-Verlag.

Sargent, N.E. (1998): Redistribution of the Canadian boreal forest under a warmed climate. *Climatological Bulletin*, **22** (3), 23-34.

Scarpa, R. & Tilling, R.I. (1996): Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards. Tilling R. and Scarpa R., eds. Editorial Springer-Verlag, Berlin, 841pp. ISBN-10: 3540607137.

Scheidegger, A.E. (1974): The physics of flow through porous media. University of Toronto Press, Toronto, 353pp.

Schmid, H., Pucher, E., Ellinger, R., Biebl, P. & Puxbaum, H. (2001): Decadal reductions of traffic emissions on a transit route in Austria_results of the Tauern tunnel experiment 1997. *Atmospheric Environment*, **35**, 3585-3593.

Schober, S. (1978). Mikrobielle Methanisierung von Klärschlamm. Expertenge-spräch 20.6.1978, Projektträger Biotechnologie, Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Schoell, M. (1980): The hydrogen and carbon isotopic composition of methane from natural gases of various origins. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 649-661.

Schwandner, F.M., Seward, T.M., Gize, A.P., Hall, P.A & Dietrich, V.J. (2004), Diffuse emission of organic trace gases from the flank and crater of a quiescent active volcano (Vulcano, Aeolian Islands, Italy). *J. Geophys. Res.*, **109**, D04301, doi: 10.1029/2003JD003890.

Scozzari, A. (2008). Non-invasive methods applied to case of Municipal Solid Waste landfill (MSW): analysis of long-term data. *Advances in Geosciences*, **19**, 33-38.

Seewald, J. (2001): Aqueous geochemistry of low molecular weight hydrocarbons at elevated temperatures and pressure: constrains from mineral buffered laboratory experiments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **65**, 1641-1664.

Seewald, J.S., 1994. Evidence for metastable equilibrium between hydrocarbons under hydrothermal conditions. *Nature*, **370**, 285- 287.

Seier, J. (1997): Luftschadstoffemissionen aus Feuerungsanlagen. Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy, University of Stuttgart, Germany.

Sherwood, L., Westgate, B., Ward, T.D., Slater, J.A. & Lacrampe-Couloume, G.F. (2002): Abiogenic formation of alkanes in the Earth's crust as a minor source for global hydrocarbon reservoirs. *Nature*, **416**, 522-524.

Shulaev, V., Silverman, P. & Raskin, I. (1997): Airborne signalling by methyl salicylate in plant pathogen resistance. *Nature*, **385**: 718-721

Singh, H.B., Viezee, W. & Salas, L.J. (1988). Measurements of selected C2-C5 hydrocarbons over the Pacific Ocean: latitudinal and seasonal variations. *Geophys. Res. Lett.*, **8**, 842-845.

Singh, H.B. & Zimmerman, P.R. (1992): Atmospheric distribution and sources of nonmethane hydrocarbons. In "Gaseous pollutants: Characterization and cycling" (Nriagu, J.O. ed.), pp 177-235. Wiley-Interscience: New York.

Singh, H.B., Kanakidou, M., Crutzen, P.J. & Jacob, D.J. (1995): High concentrations and photochemical fate of oxygenated hydrocarbons in the global troposphere. *Nature*, **378**, 50-54.

Slaets, S., Adams, F.C. & Laturus, F. (1998): GC coupled to MIP AES applied to the speciation analysis of volatile halocarbons. *LC-GC Int* 1998;11:580-6.

Song, B., Cai, Z.M., Li, X., Deng, L.X. & Zheng, L.K. (2006): Effect of benzene on sperm DNA. *Sexuality and Disability*, **24**, N° 3, 179-182.

Srivastava, A. (2004): Source apportionment of ambient VOCs in Mumbai city. *Atmospheric Environment*, **38**, 6829-6843.

Srivastava, A., Sengupta, B. & Dutta, S.A. (2005): Source apportionment of ambient VOCs in Delhi city. *Science of the Total Environment*, **343**, 207-220.

Staehelin, J., Schlöpfer K., Burgin, T., Steinemann, U., Schneider, S., Brunner, D., Baumle, M., Meier, M., Zahner, C., Keiser, S., Stahel, W. & Keller,

C. (1995): Emission factors from road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland). Part I: concept & first results. *Science of the Total Environment*, **169**, 141-147.

Staelin, J., Keller, C., Stahel, W., Schläpfer K. & Wunderli, S. (1998): Emission factors from road traffic from a tunnel study (Gubrist tunnel, Switzerland). Part III: Results of organic compounds, SO₂ & speciation of organic exhaust emission. *Atmospheric Environment*, **32**, 999-1009.

Stegmann, R., Rettenberger, G. (1991). Gas composition: main and trace components. Landfill. Proc. 3d Int. Symp., Cagliari, Italy.

Stemmler, K., Bugmann, S., Buchmann, B., Reimann, S. & Staelin, J. (2005): Large decrease of VOC emissions of Switzerland's car fleet during the past decade: results from a highway tunnel study. *Atmospheric Environment*, **39**, 1009-1018.

Stocchi, E. (1991): *Chimica Industriale: Organica*. EDISCO, Torino (in Italian).

Symonds, R.B., Mizutani, Y. & Briggs, P.H. (1996): Long-term geochemical surveillance of fumaroles at Showa-Shinzan dome, Usu volcano, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **73**, 177-211.

Taran, Y.A. & Giggenbach, W.F. (2003): Geochemistry of light hydrocarbons in subduction-related volcanic & hydrothermal fluids. *Soc. Econ. Geol. Spec. Publ.*, **10**, 61-74.

Tansel, B & Eyma, R.R. (1999): Volatile Organic Contaminant Emissions from Wastewater Treatment Plants during secondary treatment. *Water, Air, & Soil Pollution*, **112**, 315-325.

Tassi, F., Vaelli, O., Capaccioni, B., Giolito, C., Duarte, E., Fernández, E., Minissale, A. & Magro, G. (2005): The hydrothermal-volcanic system of Rincon de la Vieja volcano (Costa Rica): A combined (inorganic and organic) geochemical approach to understanding the origin of the fluid discharges and its

possible application to volcanic surveillance. *Journal of Volcanology & Geothermal Research*, **148**, 315-333.

Tchonobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1998): Gestión Integral de Residuos Sólidos. Ed. McGraw Hill/ Interamericana de España, S.A. Madrid.

Thomas, C.L. & Barlaz, M.A. (1999): Production of non-methane organic compounds during refuse decomposition in a laboratory-scale landfill. *Waste Management & Research*, **17**, 205-211. Conference on Active Volcanoes and Risk Mitigation. Napoli, 21 August-1 September, 1991.

Thorneloe, S.A., Barlaz, M.A., Peer, R., Huff, L.C., Davis, L., Mangino, J. (2000). Atmospheric Methane: Its Role in the Global Environment. Khalil, M.A.K. ISBN 3540650997

Tonami, F. & Miele, G. (1991): Methods for measuring flow of carbon dioxide through soils in the volcanic setting. Napoli '91. International C.

Touaty, M. & Bonsang, B. (2000): Hydrocarbons emissions in highway túnel in the Paris area. *Atmospheric Environment*, **34**, 985-996.

Turuguet, D. (1996): Cáncer ocupacional en España y las directivas de la Unión Europea. Cuaderno de relaciones Laborales, nº8, Servicio Público, UCM, Madrid.

UBA, (1995): Umweltbundesamt Berlin and INFRAS AG Bern, Handbuch für Emissionsfaktoren des Strabenverkehrs Version 1,1, Berlin.

Valladares, F. (2004): Ecología del bosque mediterraneo en un mundo cambiante.paginas 281-308. Ministerio de Medioambiente, EGRAF, S.A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8.

Vega, E., Mugica, V., Carmona, R. & Valenci, E., (2000): Hydrocarbon source apportionment in Mexico City using the chemical mass balance receptor model. *Atmospheric Environment*, **34**, 4121-4129.

Veldt, C. (1992): TNO, Apeldoorn: (Reference No, 91-118, File No, 112322-23155)

Vizcaino, A. (2004): Proyecto Life: Biocompost, Ayuntamiento de Valencia - Consell Agrari Municipal (<http://www.biocompost.org>).

WEF-ASCE. (1995): Toxic Air Emissions from Wastewater Treatment Facilities. Alexandria V.A, USA. Water Environment Federation-American Society of Civil Engineers.

Welhan, J.A. (1988): Origin of methane in hydrothermal systems. *Chem. Geol.*, **71**, 183- 198.

Williams, G.M. (1985). Assessing groundwater pollution from landfill sites: results of case studies. Proc. Int. Assoc. Hydrogeologists 18th Symp., Cambridge, UK. Sept. Publ. as Hydrogeology in the Science of Man, Vol. 3, Groundwater Quality Management. IAMS Publ. n° 154. ISBN 0 947 571 55 8. pp. 106-118

Winter, K. (1979) Sicherheitstechnische Kriterien bei baulichen Einrichtungen auf Deponien hinsichtlich der Gefährdung durch Gase (Safety criteria for buildings on landfills with respect to risks of gases). Rept. (188 pp) n° 103 02 102. for Umweltbundesamt, Berlin.

WHO. (1987): Air quality guidelines for Europe, WHO Regional Publications, European Series No, 23.

WHO. (2000): Air quality guidelines for Europe, 2nd Edition. WHO Regional Publications, European Series No, 91. Copenhagen.

Y, W.A., Sella, R.L. & Meeks, S.A. (1986): Non-Methane Organic Composition in the Lincoln Tunnel. *Environmental Science and Technology*, **20**, 790-796

Yamamoto, N., Okayasu, H., Murayama, S., Mori, S., Hunahashi, K. & Suzuki, K. (2000): Measurement of volatile organic compounds in the urban atmosphere of Yokohama, Japan, by an automated gas chromatographic system. *Atmospheric Environment*, **34**, 4141-4446.

Yokouchi, Y., Mukai, H., Nakajima, K. & Ambe, Y. (1990): Semi-volatile aldehydes as predominant organic gases in remote areas. *Atmospheric Environment*, **24A**, 439-442.

Young, P.J. & Parker, A. (1983): The Identification and possible environmental impact of trace gases and vapors in landfill gas. *Waste Management & Research*, **1**, 213-226.

Zielinska, B., Sagebiel, J.C., Harshfield, G., Gertler, A.W. & Pierson, W.R. (1996): Volatile organic compounds up to C₂₀ emitted from vehicles; measurement methods. *Atmospheric Environment*, **30**, 2269-2286.

Zimmerman, P.R., Greenberg, J.P., Wandiga, S.O., Crutzen, P.J. (1982). Termites: a potentially large source of atmospheric methane, carbon dioxide, and molecular hydrogen. *Science*, **218**, 563-565.

Zimmerman, R.E., and Isaacson, R. (1988). "Toxic and non-toxic components in MSW landfill gases". Energy from Biomass and Wastes XII. Proc. Conf. New Orleans, Louisiana, USA, Feb. 1988. Publ. By and to be obtd. From Inst. Gas Technol. (IGT).

Zou, S. C., Lee, S. C., Chan, C. Y., Ho, K. F., Wang, X.M., Chan, L.Y. & Zhang, Z. X. (2003): Characterization of ambient volatile organic compounds at landfill site in Guangzhou, South China. *Chemosphere*, **51**, N°9, 1015-1022.

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>Benceno</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas								mg/d*Vehic
Fecha experimento	Media Caudal Benceno (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día	
17/09/2003	7107.14	18023	3991	8386	235500	61.808	5.340	
11/02/2004	7666.26	18664	4827	8681	235500	62.929	5.437	
27/04/2004	3279.47	19436	5390	8848	235500	25.663	2.217	
01/07/2004	6584.36	20231	5214	7545	235500	51.865	4.481	
21/10/2004	6116.29	19615	5640	8838.5	235500	47.225	4.080	
Promedio de la tasa de emisión de benceno							4.311	18.30651608

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>Tolueno</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas								
Fecha experimento	Media Caudal Tolueno (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día	
17/09/2003	153876.69	18023	3991	8386	235500	1338.197	115.620	
11/02/2004	31245.36	18664	4827	8681	235500	256.478	22.160	
27/04/2004	15481.46	19436	5390	8848	235500	121.149	10.467	
01/07/2004	20935.42	20231	5214	7545	235500	164.908	14.248	
21/10/2004	25975.94	19615	5640	8838.5	235500	200.566	17.329	
Promedio de la tasa de emisión de tolueno (desestimamos el primer punto es un autlayer)							16.051	68.1571271

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>Etilbenceno</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas								
Fecha experimento	Media Caudal Etilbenceno (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día	
17/09/2003	3743.79	18023	3991	8386	235500	32.558	2.813	
11/02/2004	5032.38	18664	4827	8681	235500	41.308	3.569	
27/04/2004	2104.69	19436	5390	8848	235500	16.470	1.423	
01/07/2004	3281.32	20231	5214	7545	235500	25.847	2.233	
21/10/2004	4486.99	19615	5640	8838.5	235500	34.645	2.993	
Promedio de la tasa de emisión de etilbenceno							2.606	11.0671672

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>m+p xileno</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas								
Fecha experimento	Media Caudal m+p xileno (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día	
17/09/2003	7119.74	18023	3991	8386	235500	61.917	5.350	
11/02/2004	10423.86	18664	4827	8681	235500	85.564	7.393	
27/04/2004	4816.54	19436	5390	8848	235500	37.692	3.257	
01/07/2004	6384.05	20231	5214	7545	235500	50.287	4.345	
21/10/2004	9760.10	19615	5640	8838.5	235500	75.360	6.511	
Promedio de la tasa de emisión de m+p xileno							5.371	22.80669368

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>o xileno</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas								
Fecha experimento	Media Caudal o xileno (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día	
17/09/2003	2576.52	18023	3991	8386	235500	22.407	1.936	
11/02/2004	6133.96	18664	4827	8681	235500	50.351	4.350	
27/04/2004	3107.06	19436	5390	8848	235500	24.314	2.101	
01/07/2004	3875.09	20231	5214	7545	235500	30.524	2.637	
21/10/2004	4793.11	19615	5640	8838.5	235500	37.009	3.198	
Promedio de la tasa de emisión de o xileno							2.844	12.07798206

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>BTEX</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas								
Fecha experimento	Media Caudal BTEX (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día	
17/09/2003	174423.87	18023	3991	8386	235500	1516.886	131.059	
11/02/2004	60501.81	18664	4827	8681	235500	496.631	42.909	
27/04/2004	28789.22	19436	5390	8848	235500	225.288	19.465	
01/07/2004	41060.24	20231	5214	7545	235500	323.432	27.944	
21/10/2004	51132.43	19615	5640	8838.5	235500	394.805	34.111	
Promedio de la tasa de emisión de BTEX (desestimamos el primer punto debido al exeso de tolueno en el primer experimento)							31.107	

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>Radicales Bencenicos</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas							
Fecha experimento	Media Caudal radicales Bencenicos (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día
17/09/2003	6425.68	18023	3991	8386	235500	55.881	4.828
11/02/2004	18664.48	18664	4827	8681	235500	153.208	13.237
27/04/2004	18664.48	19436	5390	8848	235500	146.058	12.619
01/07/2004	9876.72	20231	5214	7545	235500	77.799	6.722
21/10/2004	12463.94	19615	5640	8838.5	235500	96.237	8.315
Promedio de la tasa de emisión de Radicales Bencenicos							9.144

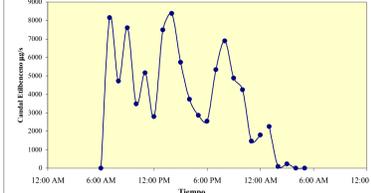
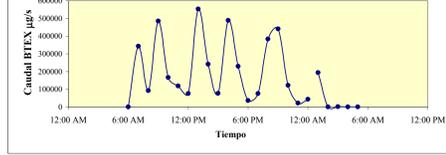
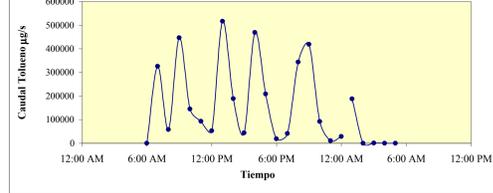
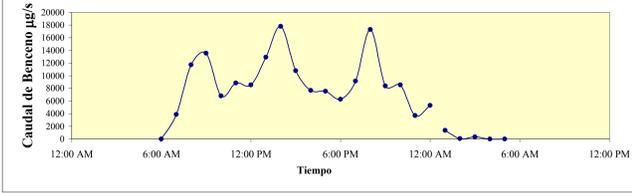
Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>Hidrocarburos Halogenados</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas							
Fecha experimento	Media Caudal Hidrocarburos Halogenados (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día
17/09/2003	4229.23	18023	3991	8386	235500	36.780	3.178
11/02/2004	42.16	18664	4827	8681	235500	0.346	0.030
27/04/2004	1235.58	19436	5390	8848	235500	9.669	0.835
01/07/2004	0.00	20231	5214	7545	235500	0.000	0.000
21/10/2004	2087.46	19615	5640	8838.5	235500	16.118	1.393
Promedio de la tasa de emisión de Hidrocarburos Halogenados							1.359

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>Hidrocarburos Aromáticos</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas							
Fecha experimento	Media Caudal Hidrocarburos Aromáticos (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día
17/09/2003	176759.26	18023	3991	8386	235500	1537.196	132.814
11/02/2004	71273.57	18664	4827	8681	235500	585.051	50.548
27/04/2004	44535.79	19436	5390	8848	235500	348.512	30.111
01/07/2004	47655.63	20231	5214	7545	235500	375.383	32.433
21/10/2004	58588.04	19615	5640	8838.5	235500	452.371	39.085
Promedio de la tasa de emisión de Hidrocarburos Aromáticos (desestimamos el primer punto debido al exeso de tolueno en el primer experimento)							38.846

Calculos matemáticos para evaluar la tasa de emisión de <u>VOCs</u> a partir de la media de caudales de 24 horas seguidas							
Fecha experimento	Media Caudal VOCs (mgr/s)	Trafico entrada	Trafico 1er acceso	Trafico 2nd acceso	Vehiculos entran/salen S/C	(mgr/s)*Km de benceno generado ese día	(Kgr/día)*Km de benceno generado ese día
17/09/2003	180988.49	18023	3991	8386	235500	1573.976	135.992
11/02/2004	71315.73	18664	4827	8681	235500	585.397	50.578
27/04/2004	45771.37	19436	5390	8848	235500	358.181	30.947
01/07/2004	47655.63	20231	5214	7545	235500	375.383	32.433
21/10/2004	60675.50	19615	5640	8838.5	235500	468.489	40.477
Promedio de la tasa de emisión de VOCs (desestimamos el primer punto debido al exeso de tolueno en el primer experimento)							39.491

Emisión COVs generada x el tráfico q sale/entra de S/C (235500 Veh) en (Kgr/dia)*Km	Emision COVs en T/año		
Benceno	4.311	2	
Tolueno	16.051	6	
Etilbenceno	2.606	1	
m+p xileno	5.371	2	
o-xileno	2.844	1	
Xilenos	8.215	3	
BTEX	31.107	11	
Radicales bencénicos	9.144	3	
Hidrocarburos halogenados	1.359	0	
Hidrocarburos Aromáticos no halogenados	38.846	14	
COVs	39.491	14	
Emisión COVs generada x el tráfico q circula entra de SC/Laguna (106168 Veh) en (Kgr/dia)*Km	Emision COVs SC/Laguna (9 Km) en Kg/dia	Emision COVs SC/Laguna (9 Km) en T/año	
Benceno	1.943	17	6
Tolueno	7.236	65	24
Etilbenceno	1.175	11	4
m+p xileno	2.421	22	8
o-xileno	1.282	12	4
Xilenos	3.703	33	12
BTEX	14.024	126	46
Radicales bencénicos	4.122	37	14
Hidrocarburos halogenados	0.613	6	2
Hidrocarburos Aromáticos no halogenados	17.513	158	58
COVs	17.803	160	58

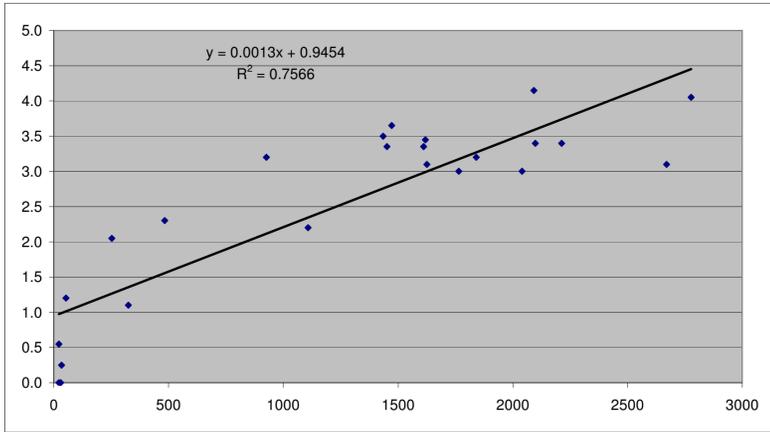
Hora muestra	Benceno ppb	Benceno µg/m	Caudal benc (µg/s)	Tolueno ppb	Tolueno µg/m	Caudal Tolueno (µg/s)	m-p-xileno ppb	m-p-xileno µg/m	Caudal m-p Xileno (µg/s)	o-xileno ppb	o-xileno µg/m	Caudal o-Xileno (µg/s)	xileno µg/m	BTX ppb	BTX µg/m	Caudal BTX (µg/s)	Etilbenceno ppb	Etilbenceno µg/m	Caudal Etilbenceno (µg/s)	BTEX ppb	BTEX µg/m	Caudal BTEX (µg/s)	1,3,5 trimetilbenceno ppb	1,3,5 trimetilbenceno µg/m	Caudal 1,3,5 trimetilbenceno µg/s	1,2,4 trimetilbenceno ppb	1,2,4 trimetilbenceno µg/m	Caudal 1,2,4 trimetilbenceno µg/s	1,1,2,3,4,4, hexacloro, 1,3-Butadieno ppb	
6:00	17-8-03 6:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14
7:00	17-8-03 7:00	6.23	20.21	3869.24	445.39	1704.45	326367.13	6.12	26.96	0.00	0.00	0.00	28.89	457.74	1761.05	335405.05	9.60	42.60	8157.46	467.40	1794.25	343562.51	3.15	15.74	3014.57	9.74	3.95	753.77	2.83	
8:00	17-8-03 8:00	12.04	39.07	11732.96	50.72	194.10	58284.63	7.89	34.81	10451.57	5.47	24.12	7243.54	58.93	78.13	292.11	3.57	15.73	4722.67	79.70	307.84	92435.37	2.71	13.54	4064.90	0.00	0.00	0.00	2.16	
9:00	17-8-03 9:00	13.71	44.47	13546.87	383.05	1485.88	446544.76	11.49	50.65	15429.07	1.29	5.71	1738.07	56.35	409.53	1566.70	5.66	24.96	7602.28	415.19	1591.66	484860.96	5.93	29.62	9021.59	0.00	0.00	0.00	0.00	
10:00	17-8-03 10:00	6.60	21.41	6902.85	119.62	457.76	145429.02	5.07	22.35	7101.76	2.74	12.08	3842.23	34.45	134.04	513.05	2.45	10.94	3476.64	136.52	524.58	166652.60	2.22	11.06	3520.35	0.00	0.00	0.00	40.47	
11:00	17-8-03 11:00	9.37	30.40	8864.16	83.70	320.32	93397.01	7.36	32.47	9465.96	1.08	4.74	1383.32	37.21	101.51	387.94	4.02	17.72	5165.59	105.53	405.65	118276.06	3.13	15.64	4561.26	0.00	0.00	0.00	0.00	
12:00	17-8-03 12:00	9.47	30.72	8555.83	49.50	189.44	52761.83	5.41	23.87	8648.65	3.43	15.13	4213.43	39.00	67.82	259.16	2.27	10.02	4213.43	70.09	269.18	74971.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.06	3.45
13:00	17-8-03 13:00	14.75	47.86	12914.17	500.36	1814.84	518646.11	14.11	62.20	16782.69	0.00	0.00	62.20	529.22	2024.91	546242.97	6.29	27.75	7487.79	535.52	2052.68	533830.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14:00	17-8-03 14:00	15.57	50.53	17810.71	139.93	535.49	188757.28	10.52	46.40	16355.35	6.33	27.92	8841.50	74.32	172.36	660.33	5.39	23.77	8378.95	177.75	684.10	241143.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21
15:00	17-8-03 15:00	9.22	29.90	10799.34	31.64	121.08	43735.26	6.16	27.18	9816.94	3.98	17.55	6338.64	44.73	51.00	195.71	3.60	15.89	5738.22	54.60	211.60	76428.41	1.75	8.73	3153.40	0.00	0.00	0.00	45.07	1.66
16:00	17-8-03 16:00	8.78	28.41	7866.04	454.38	1738.96	489164.55	6.60	29.88	7947.07	0.00	0.00	29.88	489.73	1796.36	494677.69	3.13	13.82	3728.43	472.86	1810.17	489408.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17:00	17-8-03 17:00	8.92	28.94	7556.94	208.69	798.62	208526.72	5.53	24.37	6384.98	3.13	13.79	3601.25	38.17	226.28	865.73	2.48	10.95	2858.66	226.75	876.68	228907.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18:00	17-8-03 18:00	7.43	24.10	6292.00	19.26	73.72	19249.30	4.42	19.48	5085.27	2.67	11.76	3071.65	31.24	33.78	129.06	2.21	9.73	2539.76	35.98	138.79	36237.97	1.01	5.03	1313.78	0.00	0.00	0.00	10.82	0.00
19:00	17-8-03 19:00	9.53	30.92	9149.14	36.51	139.71	41344.15	9.57	42.21	12482.16	5.26	23.19	6881.95	65.40	60.87	236.03	4.09	18.03	5336.63	64.96	264.07	75184.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.63	0.00
20:00	17-8-03 20:00	18.01	58.44	17293.97	303.55	1181.66	343761.80	11.98	52.40	15504.94	0.00	0.00	52.40	333.45	1272.50	376560.81	5.29	23.29	6933.26	338.73	1255.79	383454.08	2.03	10.13	2987.10	0.00	0.00	0.00	1268.15	1.99
21:00	17-8-03 21:00	8.84	28.69	8366.57	375.32	1436.30	418781.88	6.78	29.87	8710.02	0.00	0.00	29.87	390.93	1494.86	435858.47	3.80	16.74	4681.47	394.73	1511.61	440739.94	6.95	34.68	10112.19	3.56	0.53	153.45	1.33	
22:00	17-8-03 22:00	9.48	30.75	8593.96	86.57	331.30	92271.92	6.84	30.17	8402.30	6.60	29.08	8100.20	59.25	109.49	421.30	3.46	15.24	4245.36	112.94	436.54	121583.75	1.78	8.90	2478.89	1.85	0.14	39.65	1.33	
23:00	17-8-03 23:00	5.72	18.56	3715.81	13.83	52.16	10440.93	3.60	13.66	3173.81	2.74	12.18	2438.79	29.05	23.71	98.77	1.65	7.34	1468.74	27.39	105.10	21240.08	1.06	5.31	1083.19	1.10	0.05	10.15	0.00	
0:00	18-8-03 0:00	9.17	29.77	5310.88	41.92	160.44	28625.52	5.52	24.33	4340.32	4.02	17.72	3161.82	42.05	60.63	232.25	2.29	10.09	1800.80	62.92	242.34	43239.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.38	3.33
1:00	18-8-03 1:00	4.02	13.05	1362.94	470.39	1800.13	188011.19	3.29	14.51	1515.56	0.00	0.00	0.00	14.51	477.70	1827.69	4.90	21.61	2256.54	482.60	1849.29	193146.24	4.93	24.59	2588.65	1.83	0.14	14.57	7.88	
2:00	18-8-03 2:00	0.84	2.72	59.23	3.28	12.56	273.29	0.68	2.99	64.95	0.00	0.00	2.99	4.86	18.27	397.48	1.91	4.43	96.42	5.80	22.70	493.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.37	0.00
3:00	18-8-03 3:00	2.18	7.06	337.97	3.64	13.92	666.27	0.71	3.14	150.28	0.00	0.00	0.00	3.14	6.53	24.12	1.06	4.67	223.73	7.59	28.79	1378.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	0.00
4:00	18-8-03 4:00	2.42	7.84	0.00	106.37	407.06	0.00	1.63	7.20	0.00	0.00	0.00	12.72	111.67	427.62	0.00	2.44	10.74	0.00	114.10	436.36	0.00	0.93	4.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5:00	18-8-03 5:00	2.96	9.61	0.00	436.66	1671.06	0.00	3.75	16.53	0.00	0.00	0.00	16.53	443.37	1697.19	0.00	5.38	24.60	0.00	448.95	1721.80	0.00	3.93	29.62	0.00	0.00	0.00	0.00	1.69	
Maximo	18.01	58.44	17810.71	500.36	1914.84	516646.11	14.11	62.20	16782.69	6.60	29.08	8841.50	74.32	529.22	2024.91	546242.97	6.29	27.75	7487.79	535.52	2052.68	533830.76	6.95	34.68	10112.19	3.56	0.53	153.45	7.88	
Minimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Promedio	8.13	26.29	7107.14	181.84	695.87	153876.69	6.94	26.63	7113.74	2.08	9.19	2576.52	35.82	196.09	758.68	170660.09	3.60	15.86	3743.79	201.69	773.94	174423.87	1.81	9.05	1994.57	1.60	0.41	100.17	1.90	
Desv. Stand.	4.65	15.09	5306.44	162.53	686.51	172221.30	3.64	16.84	5474.50	2.26	9.95	3083.47	20.85	184.29	704.65	177514.63	2.08	9.16	2742.17	185.80	711.46	179759.39	2.18	1.15	2669.15	2.74	1.15	292.35	2.15	



1,1,2,3,4,4, hexacloro 1,3 Butadieno µg/m³	Caudal 1,1,2,3,4,4, hexacloro 1,3 Butadieno µg/s	1,2,4 triclorobenceno µg/m³	1,2,4 triclorobenceno µg/m³	Caudal 1,2,4 triclorobenceno µg/s	Estireno µg/m³	Estireno v Caudal Estireno µg/s	1,3-diclorob. µg/m³	1,3-diclorob. µg/m³	Caudal 1,3-d. µg/s	1,4-diclorob. µg/m³	1,4-diclorob. µg/m³	Caudal 1,4-d. µg/s	1,2-diclorob. µg/m³	1,2-diclorobenceno µg/m³	Caudal 1,2-diclorob. µg/s	Radicales Bencenicos µg/m³	Caudal Radicales bencenic. µg/s	Hidrocarburos Halogenados µg/m³	Caudal Hidrocarburos Halogen. µg/s	Hidrocarburos Aromáticos no Halog. µg/m³	Caudal Hidrocarburos Aromáticos no Halog. µg/s	CFC µg/m³	Caudal CFC µg/s	VOCs totales µg/m³	Caudal VOCs totales µg/s	Velocidad (m/s)		
77.42	7411.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.42	7411.91	1.1
30.68	5874.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1844.26	333207.14	2.2
23.40	7027.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	344.78	103827.28	3.5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29	5.58	1701.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1626.86	495583.87	3.5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	535.80	170213.33	3.7
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	421.30	122837.31	3.4
37.45	10429.10	4.12	31.06	8649.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	337.72	94060.09	3.2
37.29	10388.56	0.00	0.00	0.00	0.00	1.41	6.11	1648.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2098.16	565567.45	3.1
23.98	8451.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	708.08	249595.48	4.1
17.95	6482.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	238.40	86109.43	4.2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1810.17	488406.08	3.1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	876.88	228907.83	3.0
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	143.86	37662.57	3.0
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	254.24	75235.96	3.4
21.59	6386.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	5.20	2425.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1358.98	396522.32	3.4
14.42	4205.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1546.81	455210.88	3.4
14.37	4001.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	445.59	124102.20	3.2
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	111.47	22313.41	2.3
36.14	6448.96	4.04	30.50	5441.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	309.02	55136.36	2.1
85.50	8929.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1959.52	204658.97	1.2
35.52	794.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.23	1288.61	0.3
18.35	878.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.79	47.14	0.6
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	442.99	0.00	0.0
18.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1769.84	0.00	0.0
85.50	10429.10	4.12	31.06	8649.83	1.90	8.20	2425.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2058.77	555478.88	0.5
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.14	0.00	0.0
20.56	3642.86	0.34	2.56	587.15	0.19	0.83	240.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	907.35	180988.49	0.5
23.39	3854.00	1.15	8.69	2048.70	0.53	2.28	682.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	718.72	181556.68	0.5

Entrada principal 18023 vehiculos
 Primer acceso 3391 vehiculos
 Segundo acceso 8386 vehiculos
 Total vehiculos 30400 vehiculos
 Area boca tunel salida 87.036 m²
 Comenzamos a las 6:00 del 170903 y acabamos a las 5:00 del 180903
 Trafico ente la 18:00 y las 20:00 = 5763

ENTRADA PPAL 170903		1er ACCESO		2º ACCESO		Total	VELOCIDAD VIENTO			
Intensidad		Intensidad		Intensidad		Total				
Hora	(vehic./h)	Hora	(vehic./h)	Hora	(vehic./h)	(vehic./h)	Hora	v ₁ (m/s)	v ₂ (m/s)	V _{MEDIA} (m/s)
6:00	208	6:00	47	6:00	70	325	6	0,8	1,4	1,1
7:00	629	7:00	126	7:00	353	1108	7	2	2,4	2,2
8:00	897	8:00	191	8:00	531	1619	8	3,2	3,7	3,5
9:00	820	9:00	169	9:00	446	1435	9	3,2	3,8	3,5
10:00	873	10:00	169	10:00	430	1472	10	3,3	4	3,7
11:00	1006	11:00	177	11:00	428	1611	11	3,2	3,5	3,4
12:00	1119	12:00	229	12:00	493	1841	12	3,1	3,3	3,2
13:00	1535	13:00	370	13:00	765	2670	13	3,1	3,1	3,1
14:00	1649	14:00	479	14:00	649	2777	14	3,4	4,7	4,1
15:00	1194	15:00	321	15:00	577	2092	15	3,7	4,6	4,2
16:00	936	16:00	201	16:00	489	1626	16	2,8	3,4	3,1
17:00	1074	17:00	203	17:00	488	1765	17	2,8	3,2	3,0
18:00	1267	18:00	246	18:00	528	2041	18	2,9	3,1	3,0
19:00	1297	19:00	253	19:00	548	2098	19	3,1	3,7	3,4
20:00	1316	20:00	293	20:00	604	2213	20	3,1	3,7	3,4
21:00	842	21:00	225	21:00	385	1452	21	3,1	3,6	3,4
22:00	508	22:00	151	22:00	267	926	22	3,9	2,5	3,2
23:00	322	23:00	48	23:00	113	483	23	2,6	2	2,3
0:00	160	0:00	30	0:00	62	252	24	2,3	1,8	2,1
1:00	121	1:00	17	1:00	53	53	1	1,3	1,1	1,2
2:00	82	2:00	10	2:00	33	33	2	0,4	0,1	0,3
3:00	51	3:00	11	3:00	22	22	3	0,7	0,4	0,6
4:00	40	4:00	12	4:00	22	22	4	0	0	0,0
5:00	77	5:00	13	5:00	30	30	5	0	0	0,0
Total	18023	Total	3991	Total	8386	30400				3,28
Total	1266.666667		65 m		365 m	distancia de la entrada				
			935 m		635 m	distancia de la salida				



Carretera	Tramo	P.K.	Ligero	Peso	MD	Vehiculos Recorridos	Recorda	Vehiculos/Km	CO2/Dt	Benceno (Kg/d)	Tolueno (Kg/d)	Enfubreneno (Kg/d)	Xilenos (Kg/d)	BTEX (Kg/d)	Radicales Benzenicos (Kg/d)	Hidrocarburos Aromaticos no Halogenados (Kg/d)	Hidrocarburos Halogenados (Kg/d)	COVs Totales	Kg/d emite el trafico que circula en la Isla de TFE 1998	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	7.0	15915	21.26	15922	15915	1.2	1181.0	15.70	1.814	1.614	1.255	1.170	1.263	1.420	1.680	1.614	1.680	168	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	7.5	16228	763	16991	16991	1.2	20389	3629	3.172	1.394	1.225	0.710	2.693	1.788	3.359	3.359	3.121	3.420	628
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	10.5	14681	511	15252	15252	1.8	27454	4887	3.501	1.877	1.037	0.303	0.956	3.626	1.061	1.613	4.603	Enfubreneno	4.523
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	11.5	16857	655	17512	17512	1.0	15152	3.117	3.020	1.197	0.193	0.610	2.313	2.677	2.885	2.885	1.014	2.930	301
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	11.5	13186	1385	13885	13885	4.0	13885	2.472	2.254	3.948	0.353	2.483	3.399	2.543	2.288	2.288	0.378	2.349	1213
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	13.0	13756	535	14291	14291	0.5	7146	1.272	0.130	0.489	0.079	0.249	0.944	0.276	0.447	1.177	0.042	1.199	355
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	13.4	15186	590	15728	15728	0.4	6311	1.123	0.115	0.431	0.070	0.220	0.833	0.244	0.308	1.059	Radicales Benzenicos	1.040	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	15.0	9731	378	10109	10109	1.6	16174	2.879	0.295	1.106	0.179	0.563	2.136	2.625	2.665	2.665	0.986	2.711	1514
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	15.5	11406	443	11849	11849	3.5	9225	1.035	0.128	0.425	0.065	0.226	0.782	0.229	0.229	0.335	0.994	COVs totales	551
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	17.6	11364	442	11806	11806	2.1	24793	4.413	0.463	1.695	0.274	0.863	3.274	3.274	3.274	3.274	0.147	4.158	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	18.3	9140	355	9495	9495	0.7	6646	1.183	0.121	0.454	0.073	0.233	0.878	0.287	0.352	1.095	0.040	1.115	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	20.0	5509	217	5816	5816	1.7	8982	1.760	0.181	0.676	0.109	0.344	1.306	1.382	1.629	1.629	0.359	1.658	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	23.8	10855	1070	10955	10955	4.8	14629	7.410	0.760	2.946	0.460	1.699	2.899	2.899	2.899	2.899	0.347	3.247	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	29.0	11328	507	11835	11835	5.2	61542	10.954	1.124	4.207	0.679	2.143	8.127	2.378	10.139	10.139	0.366	10.322	
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	29.5	11246	464	12030	12030	0.5	4645	1.151	0.118	0.442	0.071	0.225	0.854	0.230	0.308	1.084			
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	32.7	9020	1023	10233	10233	3.2	33734	6.023	0.254	1.498	0.153	0.483	2.258	2.542	2.542	0.378	2.446		
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	32.9	3164	128	3292	3292	0.2	658	0.117	0.012	0.025	0.007	0.023	0.087	0.025	0.108				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	39.1	16583	1701	18284	18284	6.2	113361	20.178	2.070	7.750	1.252	3.947	14.970	4.380	0.074	10.110			
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	39.5	17339	1606	18945	18945	0.4	4758	1.349	0.138	0.518	0.084	0.264	1.001	0.293	1.249				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	51.4	15987	1474	17381	17381	11.9	20674	36.816	3.777	14.147	1.119	2.722	34.077	2.240	34.077				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	53.5	12571	1164	13735	13735	1.8	24723	4.401	0.451	1.600	0.273	0.861	3.265	0.955	4.073				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	58.5	8207	760	8967	8967	0.8	2600	0.479	0.034	0.094	0.030	0.094	0.355	0.104	0.443				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	62.2	4934	395	5329	5329	8.7	46362	8.252	0.847	3.170	0.512	1.614	6.123	1.791	7.638				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	68.0	3866	310	4176	4176	5.8	4176	3.311	0.442	1.656	0.267	0.883	3.199	0.936	3.991				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	82.2	4649	372	5021	5021	14.2	71298	12.691	1.302	4.874	0.787	2.483	9.416	2.755	12.742				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	82.5	6701	537	5238	5238	0.3	1571	0.280	0.029	0.107	0.017	0.055	0.208	0.061	0.259				
C820	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el norte	83.0	4292	344	4636	4636	0.5	2138	0.413	0.042	0.158	0.026	0.081	0.386	0.182	0.389				
C821	La Orotava a Granadilla	0.1	9947	487	9934	9934	0.1	9934	0.177	0.018	0.011	0.013	0.015	0.017	0.014	0.014				
C821	La Orotava a Granadilla	31.6	1268	51	1319	1319	31.5	41549	7.396	0.759	2.849	1.447	1.447	1.605	1.605	1.605				
C821	La Orotava a Granadilla	32.1	1514	109	1623	1623	0.5	812	0.144	0.015	0.055	0.009	0.028	0.107	0.031	0.134				
C821	La Orotava a Granadilla	81.1	1185	113	1298	1298	4.0	13623	11.321	1.161	4.348	0.403	1.248	10.479	0.543	11.778				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	0.0	6922	653	7675	7675	10.0	75750	13.484	1.383	5.179	0.836	2.638	10.004	2.927	12.480				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	14.5	540	50	590	590	4.5	2655	0.473	0.048	0.182	0.029	0.102	0.351	0.107	0.447				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	15.1	1999	188	2187	2187	0.6	1312	0.234	0.024	0.090	0.014	0.046	0.173	0.051	0.216				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	19.4	1816	70	1886	1886	1.3	1274	1.108	0.114	0.425	0.124	0.410	1.025	0.147	1.025				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	21.4	1099	103	1202	1202	3.0	3606	0.642	0.066	0.247	0.040	0.126	0.476	0.139	0.594				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	21.9	3897	249	4146	4146	0.5	2073	0.369	0.038	0.142	0.023	0.072	0.274	0.080	0.342				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	22.1	4072	225	4297	4297	0.2	899	0.153	0.016	0.059	0.009	0.030	0.113	0.033	0.142				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	22.2	1832	76	1908	1908	5.1	9731	1.732	0.178	0.665	0.139	0.463	1.603	0.358	1.603				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	27.5	10481	600	11081	11081	0.3	3324	0.592	0.061	0.227	0.037	0.116	0.439	0.156	0.548				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	48.5	573	77	650	650	21.0	15630	2.460	0.249	1.732	0.151	0.475	1.803	0.527	2.229				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	62.7	1590	215	1805	1805	14.2	25631	4.562	0.468	1.952	0.283	0.892	3.385	0.980	4.249				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	79.9	2872	103	2975	2975	0.3	5170	0.928	0.094	0.387	0.012	0.082	0.498	0.127	0.623				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	82.0	3010	175	3185	3185	2.1	6688	1.191	0.122	0.457	0.074	0.233	0.883	0.238	1.102				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	84.4	3808	222	4030	4030	2.4	9672	1.722	0.177	0.661	0.107	0.337	1.277	0.374	1.594				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	88.1	3819	212	4031	4031	3.7	14713	2.522	0.369	1.536	0.219	0.715	2.335	0.284	2.335				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	89.3	4100	239	4339	4339	1.2	5707	0.927	0.095	0.356	0.057	0.181	0.688	0.201	0.858				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	99.5	6898	403	7301	7301	10.2	74470	13.256	1.360	5.931	0.822	2.593	9.834	2.878	12.269				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	99.7	12553	733	13286	13286	0.2	2657	0.473	0.049	0.182	0.029	0.093	0.351	0.103	0.478				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	100.0	3941	394	4325	4325	0.3	1287	2.298	0.282	1.276	0.127	0.425	1.626	0.277	1.626				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	112.0	26751	2438	29189	29189	12.0	352628	62.348	6.396	23.966	3.867	12.196	46.256	13.535	57.709				
C822	Santa Cruz de Tenerife a Guia de Isora por el sur	113.1	12959	1181	14140	14140	1.1	15554	2.769	0.284	1.063	0.172	0.542	2.054	0.601	2.563				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	0.6	13176	950	14126	14126	0.6	8476	1.509	0.155	0.579	0.094	0.295	1.119	0.328	1.396				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	7.0	1185	518	1233	1233	0.4	7031	0.948	0.076	0.314	0.081	0.286	0.917	0.188	1.018				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	6.2	4004	134	4138	4138	5.2	21518	3.830	0.393	1.471	0.238	0.749	2.842	0.831	3.545				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	9.5	1034	74	1108	1108	3.3	3656	0.651	0.067	0.250	0.040	0.127	0.483	0.141	0.602				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	22.5	567	40	607	607	13.0	2891	1.405	0.144	0.539	0.057	0.215	0.842	0.285	1.130				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	23.8	571	41	612	612	0.1	612	0.142	0.013	0.054	0.011	0.028	0.103	0.035	0.131				
C824	La Laguna al Puerto de la Villa	42.6	616	44	660	660	18.8	12408	2.209	0.227	0.848	0.187	0.622	1.639	0.479	2.044				
TF-1	Santa Cruz de Tenerife a Los Cristianos	2.1	31705	2992	34697	34697	0.7	72864	12.970	1.330	4.981	0.804	2.537	9.222	2.816	12.005				
TF-1	Santa Cruz de Tenerife a Los Cristianos	5.0	44473	4097	49170	49170														

Estación	Cantón	Carrera	KM	Lugar	Inicio	Fin	Distancia	Longitud	Latitud	Altitud	Lágras	Peso	Total	Veh' Km Psado	Veh' Km Psado	Benceno (Kg/día Lágras)	Tolueno (Kg/día Lágras)	Enfrentenos (Kg/día Lágras)	Xileno (Kg/día Lágras)	BTEX (Kg/día Lágras)	Radicales Benzénicos (Kg/día Lágras)	Radicales Aromáticos no Halogenados (Kg/día Lágras)	Hidrocarburos Halogenados (Kg/día Lágras)	COVs Totales (Kg/día Lágras)	Relación tráfico	Kg de emite el tráfico que circula en la Isla de TFE 2006	
1	Pernamé	TE-1	5.49	LAGO VERDE	6.07	1.86	4.82	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Provincia S/C TFE 1998	50391	Benceno	
2	Pernamé	TE-1	9.28	SANTA MARIA DEL MAR.	6.15	1.15	5.49	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Provincia S/C TFE 1998	50391	Tolueno	
21	Pernamé	TE-1	16.38	BARRANCO HONDO	11.13	7.1	6.07	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Provincia S/C TFE 2005	660517	Xileno	
22	Pernamé	TE-1	30.9	CUMAR	16.38	19.7	3.06	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Provincia S/C TFE 2005	660517	BTEX	
30	Pernamé	TE-1	56.16	LA FORJIDA DE ARONA.	42.3	13.86	13.86	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Estación Provincia S/C TFE 2006	162637	Radicales Benzénicos	
40	Pernamé	TE-1	68.7	AEQUIVOETUSUL.	56.18	12.52	12.52	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Estación TFE 2006	1945753143	Radicales Benzénicos	
57	Pernamé	TE-1	75.91	LOS CRISTIANOS.	66.18	9.73	9.73	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Ratio trafico Provincia TFE 2006	1.337657061	Hidroc Aromatic Halog	
65	Pernamé	TE-1	76.68	FARABE	75.91	0.77	0.77	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Estación Provincia S/C TFE 2006	162637	Hidroc Aromatic Halog	
141	Pernamé	TE-11	2.25	DARSIENA PESQUERA	0	2.25	2.25	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Estación Provincia S/C TFE 2006	162637	COVs Totales	
141	Pernamé	TE-11	3.14	SAN ANDRÉS	2.25	3.14	0.89	32722	34754	22106	16507	2343	1065592	78.94	1.945315737	1.17638532	3.11053232	14.07103568	14.07103568	0.338186	4.117234228	17.5488648	17.5488648	Estación Provincia S/C TFE 2006	162637	COVs Totales	
379	Cobureta	TE-111	3.43	IFARA	0	3.43	3.43	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
379	Cobureta	TE-111	6.66	VALLE JIMENEZ	3.43	6.66	3.23	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
383	Cobureta	TE-111	9.48	LA FITZGERALD	6.66	9.48	2.82	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
383	Cobureta	TE-111	10.27	FINCA ESPAÑA	9.48	10.27	0.79	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
385	Cobureta	TE-111	1.68	JARDINA	0	1.68	1.68	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
383	Cobureta	TE-111	2.97	LAS MERCEDES	1.68	2.97	1.29	32222	3153639	5639	328	5967	7274.31	433.12	0.13521796	0.047039516	0.080130854	0.23528076	0.096041363	0.28107857	0.149844585	0.28107857	0.149844585	Estación Provincia S/C TFE 2006	59.40	Benceno	
149	Cobureta	TE-12	1.06	PICO DEL INGLE	18.2	20.26	2.06	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
147	Cobureta	TE-12	1.97	SAN ANDRÉS	0	1.97	1.97	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
145	Cobureta	TE-12	11.42	EL BAILADERO	9.48	11.42	1.93	32722	3158077	445	21	466	885.85	40.53	0.015681762	0.009481545	0.009481545	0.22904756	0.22904756	0.015681762	0.009481545	0.009481545	0.22904756	0.009481545	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
147	Cobureta	TE-12	18.32	EL BAILADERO	11.42	18.32	6.9	32722	3158077	445	21	466	885.85	40.53	0.015681762	0.009481545	0.009481545	0.22904756	0.22904756	0.015681762	0.009481545	0.009481545	0.22904756	0.009481545	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
149	Cobureta	TE-12	18.26	PICO DEL INGLE	18.2	18.26	0.06	32625	315037	1089	16	1105	3735.27	54.88	0.06282302	0.253546028	0.04126385	0.61457204	0.49327694	0.14435274	0.049327694	0.14435274	0.049327694	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
151	Cobureta	TE-12	21.82	LAS MERCEDES	20.26	21.82	1.56	32722	3152726	1352	79	1431	1433.12	83.74	0.02616732	0.097975507	0.015822132	0.490995609	0.189257036	0.553737661	0.055373766	0.055373766	0.055373766	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
153	Cobureta	TE-12	23.44	CRUZ DEL CARMEN	21.82	23.44	1.62	32740	3156739	1642	96	1738	2662.04	155.32	0.048569732	0.029367745	0.029367745	0.31828414	0.48257211	0.048569732	0.029367745	0.029367745	0.048569732	0.029367745	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
153	Cobureta	TE-12	27.23	LAS CANTERAS	23.44	27.23	3.79	32740	3156739	1642	96	1738	2662.04	155.32	0.048569732	0.029367745	0.029367745	0.31828414	0.48257211	0.048569732	0.029367745	0.029367745	0.048569732	0.029367745	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
172	Cobureta	TE-12	28.94	LAS CANTERAS	27.23	28.94	1.71	32740	3156739	1642	96	1738	2662.04	155.32	0.048569732	0.029367745	0.029367745	0.31828414	0.48257211	0.048569732	0.029367745	0.029367745	0.048569732	0.029367745	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
391	Cobureta	TE-121	0.99	EL SUCULUM	0	0.99	0.99	378169	3153715	14680	682	1362	14533.72	675.18	0.265362038	0.160451465	0.160451465	0.596239316	0.193246369	1.93429554	0.596239316	0.193246369	0.596239316	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
393	Cobureta	TE-121	2.26	CANTERA DE PIQUE	0.99	2.26	1.27	38164	3154368	2993	139	3132	3801.11	116.33	0.04166546	0.129386371	0.129386371	0.350192488	0.14687941	0.04166546	0.129386371	0.129386371	0.04166546	0.129386371	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
395	Cobureta	TE-121	3.28	LAS GAVIotas	2.26	3.28	1.02	38164	3154368	2993	139	3132	3801.11	116.33	0.04166546	0.129386371	0.129386371	0.350192488	0.14687941	0.04166546	0.129386371	0.129386371	0.04166546	0.129386371	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
397	Cobureta	TE-121	3.28	KRISTEER DE SAN ANDRE	2.26	3.28	1.02	38580	3149618	1988	55	1253	156.22	16.22	0.004760322	0.016613396	0.016613396	0.037672033	0.045693892	0.004760322	0.016613396	0.016613396	0.004760322	0.016613396	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
401	Cobureta	TE-123	8.88	BARRALDECHAMORGA	5.55	8.88	3.33	388146	3158630	283	11	294	2357.39	91.63	0.040436430	0.016613396	0.016613396	0.026226386	0.08282189	0.040436430	0.016613396	0.016613396	0.040436430	0.016613396	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
403	Cobureta	TE-123	11.81	CHAMORGA	8.88	11.81	2.93	388636	3160185	278	8	186	521.54	23.44	0.005757979	0.005757979	0.005757979	0.008854285	0.020152926	0.005757979	0.008854285	0.020152926	0.005757979	0.008854285	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
405	Cobureta	TE-123	15.81	LOS BODEGAS	11.81	15.81	4.0	386611	3160185	278	8	186	521.54	23.44	0.005757979	0.005757979	0.005757979	0.008854285	0.020152926	0.005757979	0.008854285	0.020152926	0.005757979	0.008854285	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno
199	Pernamé	TE-13	1.73	VIA RONDA	0	1.73	1.73	32719	3150264	34120	502	14672	5914.1	868.46	0.179593732	0.404146115	0.404146115	0.626319745	0.25852355	7.80557444	0.626319745	0.25852355	7.80557444	Estación Provincia S/C TFE 2006	101.76	Benceno	
163	Cobureta	TE-13	3.98	BRONCO	1.73	3.98	2.25	371988	3153196	2526	371	25697	9893.5	814.75	0.389687261	0.210191797	0.210191797	0.984138854	0.125097597	1.984138854	0.125097597	1.984138854					

605	Guberna	TE-355	0.4	0.74	1.74	34260	3141558	19285	706	19991	14270.9	522.44	0.26572696	0.975632654	0.15755584	0.049606072	1.884607176	0.55144444	0.084837622	2.393632909
606	Guberna	TE-356	2.71	10.77	19.7	34410	3141447	6797	240	7039	13732.6	493.53	0.244238174	0.167478086	0.174672806	0.034675618	1.266467994	0.536876136	0.079519482	2.243833227
607	Prima	TE-342	4.8	18.8	36.7	34424	3140581	6797	183	5180	13985.3	878.4	0.29759873	0.254809127	0.316753900	0.167530060	1.316753900	0.326821602	0.143895514	4.02520422
609	Guberna	TE-342	11.27	44.8	87.2	34424	3139957	4871	178	4049	31515.37	1151.66	0.57549877	0.347903643	0.419023658	0.121791367	1.419023658	0.159231414	0.181352518	5.280174753
611	Guberna	TE-342	11.27	12.03	6.47	339784	3139778	4145	152	4597	3150.2	115.52	0.057519375	0.215363992	0.014729278	0.109684883	0.0416013673	0.0112727473	0.0187227304	0.523871475
613	Guberna	TE-342	12.05	18.49	4.86	34424	3140270	2209	78	2347	14657.74	635.88	0.261636449	0.161632649	0.510755566	0.250590553	0.566929251	0.566929251	0.566929251	2.448498246
615	Guberna	TE-344	10.1	10.1	10.1	34154	3140056	191	7	198	1929.1	70.7	0.035223482	0.13188327	0.021297199	0.06170361	0.025475881	0.074542718	0.01146811	0.323564444
617	Guberna	TE-351	3	0.45	3	33804	3141812	1996	29	2025	5988	87	0.20135032	0.086109554	0.026109554	0.23138349	0.098657962	0.035597452	1.004556888	
621	Guberna	TE-351	5.34	5.34	5.34	339232	3140080	1145	43	1188	2679.3	100.62	0.048921401	0.018317028	0.002938062	0.002938062	0.010353138	0.019527898	0.044939468	0.044939468
623	Guberna	TE-352	2.86	2.86	2.86	32202	3141356	1145	41	1188	3275.47	122.98	0.059123022	0.014015374	0.001401537	0.014015374	0.039524944	0.126338674	0.039524944	0.126338674
625	Guberna	TE-353	0.49	0.49	0.49	33847	3140416	1861	68	1929	911.89	33.32	0.016650221	0.006341524	0.010065755	0.010243360	0.035236514	0.005241002	0.015029703	0.015029703
629	Guberna	TE-362	0.353	0.353	0.353	33338	3140062	14195	210	14005	50108.35	741.3	0.914929353	0.34266391	0.553213206	0.174474924	0.61728104	0.936246221	0.207884034	8.450584227
630	Guberna	TE-366	2.03	2.03	2.03	33225	3138863	6471	96	6567	582.39	8.64	0.010133853	0.009815197	0.006429783	0.020227858	0.076910102	0.022304242	0.009595153	0.009595153
631	Guberna	TE-366	4.2	4.2	4.2	33225	3138807	6099	75	5174	11064.63	162.25	0.1205221	0.17564949	0.021214862	0.122194582	0.146213342	0.427581387	0.282939462	1.855887883
633	Guberna	TE-373	0.355	0.355	0.355	33008	3139179	626	9	635	2222.3	31.95	0.040572028	0.015927041	0.024534947	0.077379448	0.029435711	0.088572134	0.0361369	0.03121125
635	Guberna	TE-373	3.55	4.17	8.21	33016	3138025	3975	59	404	3264.75	484.39	0.595878662	0.221080573	0.360298726	0.116326752	0.430298726	0.126105541	0.517665605	0.194607006
640	Permanente	TE-373	15.22	15.22	15.22	32710	3133714	3046	45	3091	10539.16	135.7	0.192434769	0.072031575	0.116355007	0.369698288	0.137936627	0.407242673	0.02626318	0.02626318
641	Guberna	TE-375	1.14	1.14	1.14	34424	3137033	1145	41	1188	1597.94	57.88	0.041842802	0.01700842	0.000700842	0.01700842	0.000700842	0.000700842	0.000700842	0.000700842
645	Guberna	TE-375	7.96	7.96	7.96	32316	3125751	4163	48	4211	15902.66	183.36	0.280376004	0.107577069	0.155570769	0.055212193	0.061449769	0.262056085	0.094538106	0.627325138
277	Guberna	TE-38	28.63	28.63	28.63	31949	3125249	1900	52	1952	54397	1488.26	0.992326093	0.371886272	0.602650139	0.890278132	0.7183617792	2.101904756	0.32319193	9.121912951
79	Guberna	TF-4	2.82	2.82	2.82	313480	3147819	2351	493	2071	5717.91	90.83	0.04199631	0.340041873	0.053895172	0.174713180	0.662064986	0.280730364	0.280975542	8.402353542
81	Permanente	TF-4	3.33	3.33	3.33	32000	3146024	22671	4099	27320	15662.2	2386.49	0.221144662	0.121144662	0.021144662	0.121144662	0.146627594	0.446627594	0.065753036	1.939309108
647	Guberna	TE-414	2.56	2.56	2.56	33149	3139833	4556	157	4173	11663.36	401.92	0.212961563	0.073661771	0.128767456	0.046112747	0.080668098	0.192166588	0.069136223	1.95627482
279	Permanente	TE-42	0.45	0.62	5.7	33143	3139562	738	17	775	4222.06	94.69	0.07709092	0.028864894	0.064661297	0.147010157	0.537562913	0.163145418	0.009560076	0.202509295
281	Guberna	TE-42	11.46	11.46	5.44	31923	3139282	7892	272	8164	42922.48	1479.68	0.283905155	0.230582943	0.473998963	0.14948869	0.680629069	1.658920272	0.255224934	7.230890924
283	Guberna	TE-42	11.46	14.58	3.12	319225	3139280	7413	255	7668	23128.56	195.6	0.442330497	1.58118278	0.255345197	0.805325656	3.053448666	0.893715057	3.805625299	1.373496424
649	Guberna	TE-421	6.58	6.58	6.58	32685	3139517	939	32	971	6432.15	219.2	0.117444777	0.023964459	0.071013121	0.24854924	0.084942618	0.24854924	0.038237834	1.059734268
653	Guberna	TE-421	8.58	8.58	8.58	3173	32700	3138570	1359	83	1442	2351.07	143.59	0.042928242	0.160713325	0.025996611	0.081836159	0.030481026	0.037352521	0.394458028
655	Guberna	TE-421	4.28	4.28	4.28	32800	3138033	1616	41	1073	3765.04	123.87	0.012931017	0.014070263	0.012931017	0.014070263	0.0143540792	0.012931017	0.012931017	0.012931017
657	Guberna	TE-426	13.24	13.24	6.31	31234	318899	318608	1905	22	1927	2522.2	291.28	0.640732339	0.228461656	0.228461656	0.333082809	0.974615796	4.155504713	0.149948092
663	Guberna	TE-436	16.79	16.79	3.55	31823	3137096	1363	16	1329	4838.65	56.8	0.088340023	0.13079518	0.05342046	0.168495233	0.063899448	0.186971189	0.079178938	0.81158238
665	Guberna	TE-436	22.1	22.1	3.55	31825	3131423	1212	15	1277	6435.72	79.65	0.11730962	0.049997919	0.01925235	0.024898764	0.084097631	1.06232446	0.038259037	1.079451975
669	Guberna	TE-440	9.19	9.19	2.5	31921	3139123	4273	14	637	4327.48	67.7	0.076014376	0.016021236	0.016021236	0.016021236	0.016021236	0.016021236	0.016021236	0.016021236
671	Guberna	TE-454	5.91	5.91	5.91	32049	3125417	5879	68	5947	34744.89	401.88	0.634407538	2.37534673	0.38593589	1.209880341	4.58830094	1.34258386	5.72442349	0.20651563
673	Guberna	TE-454	6.91	6.91	1	319851	3125132	6110	277	637	6110	277	0.011362633	0.041771237	0.067456676	0.080883227	0.236097665	0.106861819	0.036322718	0.036322718
674	Guberna	TE-463	5.06	5.06	5.06	32743	3123240	1663	75	1738	8414.78	139.5	0.153646669	0.057327953	0.029029599	0.111251202	0.325151704	1.38634941	0.05020417	1.413396221
675	Guberna	TE-463	9.21	9.21	4.15	32099	3119023	4274	43	1667	6796	218.45	0.160274673	0.012460724	0.012460724	0.012460724	0.012460724	0.012460724	0.012460724	0.012460724
677	Guberna	TE-465	4.25	4.25	4.25	32356	3116648	693	31	724	2945.25	117.25	0.057571661	0.023516561	0.023516561	0.023516561	0.038848089	0.113807962	0.485247134	0.049011992
679	Guberna	TE-465	5.7	5.7	4.15	32625	3117194	863	23	886	1251.35	33.35	0.022848429	0.008549679	0.013815239	0.043571423	0.16152359	0.04835362	0.02616219	0.00742033
680	Guberna	TE-465	8.88	8.88	3.18	32685	3117190	408	10	418	1297.44	31.8	0.022680997	0.008589922	0.014324178	0.05126255	0.050134624	0.013308815	0.013308815	0.013308815
681	Guberna	TE-465	11.87	11.87	0.99	32721	3118290	4524	17	651	4995.64	50.43	0.0546129	0.020291923	0.020291923	0.020291923	0.020291923	0.020291923	0.020291923	0.020291923
285	Permanente	TE-47	3.27	3.27	1.24	32772	3112581	27154	1233	2887	88793.58	4031.91	0.620781287	0.080311287	0.080311287	0.080311287	3.091572011	11.72261196	14.62926074	52.7859261
287	Guberna	TE-47	8.09	8.09	5.74	32772	3112581	27154	1233	2887	88793.58	4031.91	0.620781287	0.080311287	0.080311287	0.080311287	3.091572011	11.72261196	14.62926074	52.7859261
289	Guberna	TE-47	8.09	8.09	5.74	32772	3112581	27154	1233	2887	88793.58	4031.91	0.620781287	0.080311287	0.080311287	0.080311287	3.091572011	11.72261196	14.62926074	52.7859261
291	Guberna	TE-47	16.97	16.97	2.97	32029	3121331	14789	67	15660	43923.33	1592.37	0.302283582	0.484928484	0.484928484	0.484928484	1.529398713	6.697249044	7.23620759	16.7812379
293	Guberna	TE-47	18.89	18.89	1.91	32028	3124791	5869	266	6135	31268.48	510.72	0.205751439	0.077037169	0.124407847	0.39233321	1.488109248	0.435427465	0.066988841	1.890042293
295	Guberna	TE-48	1.44	1.44	1.44	32075	3105648	6767	40	1548	1498.94	50.18	0.046380894	0.017602486	0.017602486	0.017602486	0.017602486	0.017602486	0.017602486	0.017602486
83	Permanente	TF-5	2.15	2.15	0.71	32397	3147370	99417	4750	104167	70586.07	3372.5	0.288832701	0.479219417	0.792941664	0.245773987	0.932157439	1.629576119	0.419619949	1.162927713
85	Permanente	TF-5	6.91	6.91	0.71	32398	3148366	114057	5561	119628	54911.32	2640.36	0.913030471	3.711623037	5.99325401	18.30931857	31.0			

Anexo III

Mapas de distribución espacial de COVs no metanizados en Solfatará y volcán Cerro Negro

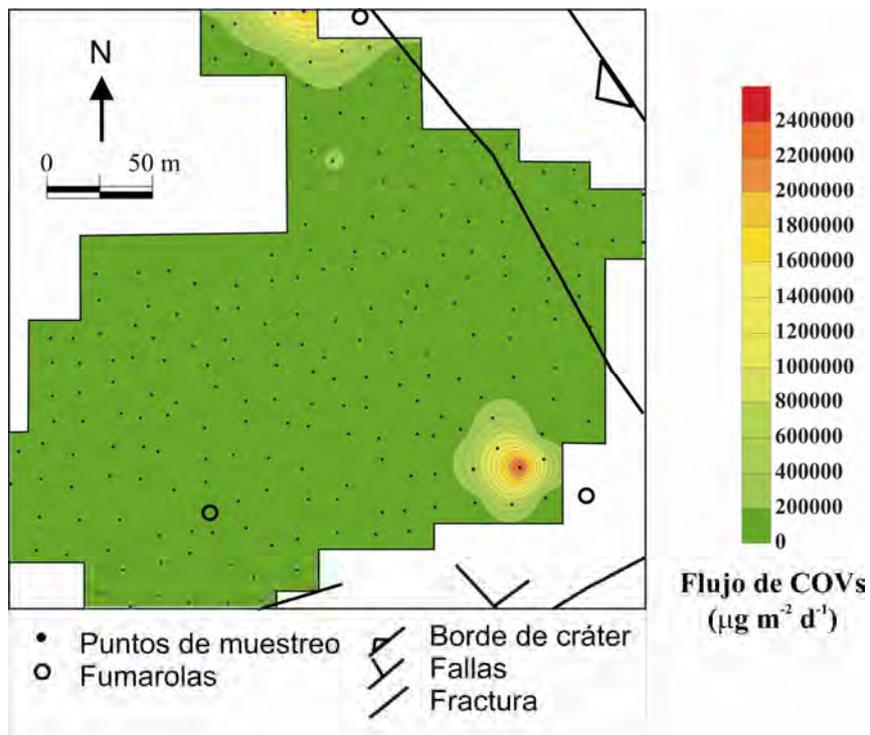


Figura 1.- Distribución espacial de la emisión difusa de COVs a la atmósfera por el campo fumarólico de Solfatará en 2005.

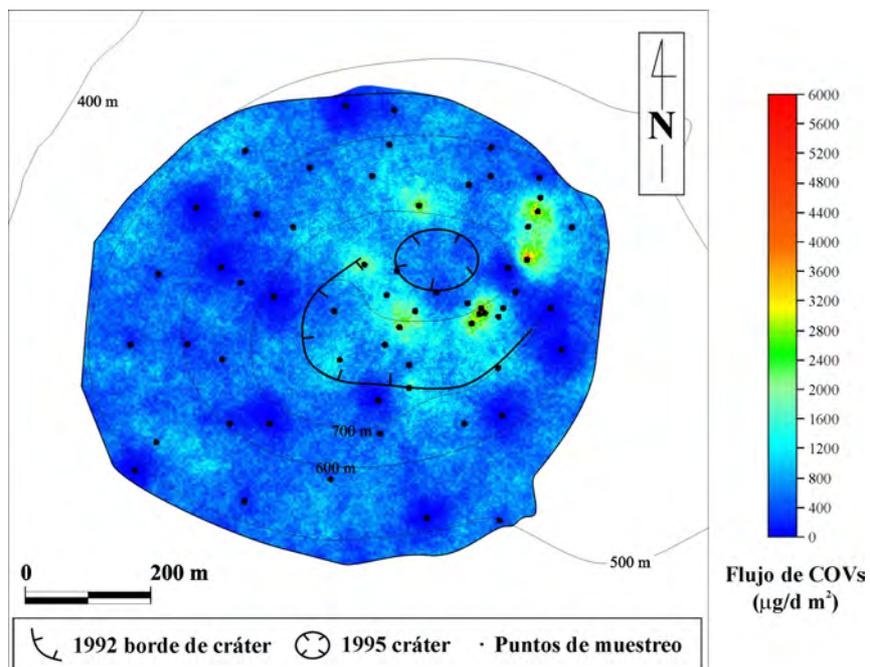


Figura 2.- Distribución espacial de la emisión difusa de COVs a la atmósfera por el volcán Cerro Negro en 2005.