

**PROFUNDIZACIÓN EN EL DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN
AMBIENTAL DEL ENTORNO DE LA RÍA DE HUELVA
DICIEMBRE 2004**



**Con la participación de la Unión Europea
Proyecto cofinanciado por el FEDER**



Consejería de Medio Ambiente

ÍNDICE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	i
Conclusiones y recomendaciones del estudio de los niveles y caracterización del material particulado atmosférico	i
Conclusiones y recomendaciones de la simulación numérica del impacto sobre la Ría del vertido térmico procedente de las tres futuras centrales proyectadas	i
Conclusiones y recomendaciones del informe geológico-técnico.....	ii
ANTECEDENTES	1
METODOLOGÍA	3
1. Niveles y caracterización del material particulado atmosférico	3
1.1. Medidas en tiempo real de los niveles y granulometría de las partículas	3
1.2. Muestreo de PM10 y PM2,5	3
1.3. Tratamiento de las muestras	3
1.4. Análisis	3
2. Estimación del impacto fotoquímico	4
2.1. Identificación de los escenarios meteorológicos: el entorno geográfico	5
2.2. Estimación del impacto fotoquímico	6
2.2.1. Definición del área y mallas	7
2.2.2. Sensibilidad a las emisiones	7
3. Simulación numérica del impacto sobre la Ría del vertido térmico procedente de las tres futuras centrales proyectadas	8
3.1. Modelado hidrodinámico	8
3.1.1. Malla computacional y calibración de parámetros hidrodinámicos	9
3.1.2. Validación del modelo hidrodinámico	10
3.2. Modelado de la dispersión de las plumas térmicas	11
3.2.1. Calibración del modelo de transporte	12
4. Informe geológico-geotécnico sobre el terreno en el que se producen los vertidos de fosfoyesos.....	15
4.1. Localización del área de estudio.....	15
4.2. Trabajos realizados.....	15
4.2.1. Trabajos de campo.....	15
4.2.2. Ensayos de laboratorio.....	25
RESULTADOS	27
1. Resultados del estudio de los niveles y caracterización del material particulado atmosférico	27
1.1. Medidas en tiempo real de los niveles y granulometría de las partículas	27
1.2. Caracterización química de PM10 y PM2,5	35
2. Resultados de la estimación del impacto fotoquímico	40
2.1. Escenarios meteorológicos	40
2.1.1. Patrones de circulación	48
2.1.2. Elección de los escenarios meteorológicos	51
2.1.3. Simulaciones meteorológicas	53
2.2. Estimación del impacto fotoquímico	55
2.2.1. Elección del modelo fotoquímico	55

2.2.2. Elección de un escenario base	57
2.2.3. Emisiones biogénicas y antropogénicas	57
2.2.4. Usos de suelo	59
2.2.5. Información meteorológica	59
3. Resultados de la simulación numérica del impacto sobre la Ría del vertido térmico procedente de las tres futuras centrales proyectadas	60
3.1. Situación administrativa de las tres centrales térmicas proyectadas ...	60
3.2. Modelización por elementos finitos del vertido térmico de las tres centrales eléctricas en la Ría de Huelva.....	62
4. Informe geológico-geotécnico sobre el terreno en el que se producen los vertidos de fosfoyesos.....	68
4.1. Encuadre geológico-geotécnico.....	68
4.1.1. Caracterización geológica.....	68
4.1.2. Caracterización geológico-geotécnica.....	78
4.2. Características sísmicas de la zona.....	85
4.3. Resumen.....	87
ANEXO I: Grupos participantes	91
ANEXO II: Intercomparación de equipos de medida del material particulado atmosférico – julio 2004	92
ANEXO III: Aclaraciones en relación con las Conclusiones de la evaluación radiológica de las balsas de fosfoyeso del 6º Informe del CSIC.....	100

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO DE LOS NIVELES Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

Las medias obtenidas en el periodo junio de 2003 a mayo de 2004 en la estación Campus El Carmen han sido $37 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, $24 \mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$ y $18 \mu\text{g PM}_1/\text{m}^3$, siendo similares a las obtenidas en el año 2001 ($38 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, $20 \mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$ y $15 \mu\text{g PM}_1/\text{m}^3$) y 2002 ($36 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, $19 \mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$ y $16 \mu\text{g PM}_1/\text{m}^3$) en la estación Manuel Lois.

El valor medio anual de PM_{10} para el mencionado periodo de estudio es inferior al valor límite anual establecido por el Real Decreto 1073/2002 y Directiva 1999/30/CE para el año 2005 ($40 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$). Si consideramos el límite diario de $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ que entrará en vigor el 1 de enero de 2005 se habrían registrado 80 superaciones. Si se descuentan las superaciones debidas a intrusiones saharianas, se obtienen un total de 12 superaciones atribuibles a causas antropogénicas entre junio de 2003 a mayo de 2004, cumpliéndose así los requisitos propuestos para el año 2005 (menos de 35 superaciones por año del valor diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Se han identificado periodos con niveles de PM_1 muy elevados (hasta $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en valores horarios, durante periodos nocturnos. Debido al impacto de penachos de origen industrial, acompañados con altos niveles de SO_2 procedente del Polígono Industrial de la Punta del Sebo.

En la composición química de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ destacan los niveles relativamente altos en As, Ti, Cu y P debido al impacto de las emisiones del Polígono Industrial Punta del Sebo. Aunque los niveles de As han disminuido desde 1999, siguen existiendo concentraciones diarias puntualmente altas (entre 20 y $30 \text{ ng}/\text{m}^3$) entre junio de 2003 a mayo de 2004. No obstante, la concentración media de As obtenida en el periodo arriba reseñado ($3,7 \text{ ng}/\text{m}^3$) es inferior al valor objetivo propuesto por la UE como valor medio recomendado ($6 \text{ ng As}/\text{m}^3$ en PM_{10} , European Commission, 2002). Se ha observado un descenso relativo de los valores de Cu con valores medios de $26 \text{ ng}/\text{m}^3$ frente a 70 y $108 \text{ ng}/\text{m}^3$ en años anteriores.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL IMPACTO SOBRE LA RÍA DEL VERTIDO TÉRMICO PROCEDENTE DE LAS TRES FUTURAS CENTRALES PROYECTADAS

Se ha utilizado un modelo numérico capaz de simular la dispersión de vertidos térmicos de plantas de energía.

Los resultados de la simulación muestran que con las tres plantas de energía desagando a la Ría se produce un importante cambio en la temperatura del agua. Debido a la proximidad propuesta para los desagües de las centrales de Unión Fenosa y Energía de Huelva las plumas térmicas se unen e influyen notablemente en el aumento de la temperatura de la Ría. La pluma de Endesa no llega a unirse a las de las otras dos centrales térmicas propuestas. El vertido de las plantas aumenta considerablemente la temperatura del agua de la Ría, fundamentalmente en el área próxima a los desagües (hasta 8°C). Todos los resultados de las simulaciones muestran que la dispersión de la

contaminación térmica alcanza un estado estacionario Ría arriba, pero progresa continuamente a lo largo de la corriente durante el periodo ensayado.

Los resultados indican que el modelo numérico proporciona una herramienta eficiente y comprensible de simulación de dispersión de contaminación térmica y es útil para la toma de decisiones de carácter estratégico.

Se recomienda que se reconsidere la distancia entre los puntos de vertido de las centrales térmicas proyectadas de Unión Fenosa y Energía de Huelva.

Se recomienda que ninguna central térmica opere con más de un grupo de 400 Mw en condiciones de refrigeración en circuito abierto.

Se recomienda establecer un plan de control de temperatura de la Ría de Huelva que permita calibrar inequívocamente los cambios de temperatura en distintas épocas del año.

Se recomienda que se definan los valores reales de los vertidos térmicos, las dimensiones exactas de los desagües, del volumen de descarga y la coordinación de los puntos de vertido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL INFORME GEOLÓGICO-TÉCNICO

Se han realizado 4 sondeos con profundidades entre 20 y 35 m en la zona en la que se asientan los vertidos de fosfoyesos que han permitido, junto con la demás información disponible, establecer la secuencia estratigráfica general en la zona objeto de estudio; así mismo, dos de ellos se han utilizado para realizar un ensayo de bombeo y obtener datos de permeabilidad en el acuífero granular que existe en el techo del substrato generalizado del emplazamiento, el cual son margas azules. La formación de margas azules constituye el substrato generalizado del emplazamiento con un espesor estimado superior a 100 m.

Se recomienda realizar nuevos sondeos fuera de la zona de influencia de las cargas transmitidas por los terraplenes de la balsa de residuos, con objeto de establecer posibles diferencias en el grado de consolidación y presiones intersticiales, especialmente en la capa de fangos, que permitirá, a partir de las presiones principales totales, definir las tensiones efectivas en cada caso. Con ello se podrá evaluar el efecto actual de las sobrecargas sobre el subsuelo que constituye el cimientado de los terraplenes.

La secuencia estratigráfica tipo se ha definido atendiendo exclusivamente a las diferentes capas diferenciadas estableciendo su correlación con las Formaciones cartografiadas en la Hoja nº 999, Huelva-Los Caños (I.T.G.E). Cada una de las capas se muestran muy homogéneas, por lo que no se ha diferenciado niveles dentro de ellas.

La secuencia desde la rasante actual hasta el substrato Terciario es:

1.-Rellenos:

1.1.- Relleno granular: representa una capa de pequeña entidad e importancia, vertida sobre el camino que bordea la zona W de la balsa. Está constituida por arenas, gravas y cantos en matriz areno limosa marrón rojiza. Presenta un espesor en torno a 0,50 m.

1.2.- Relleno de fosfoyesos: el techo y el muro de esta capa se localizan a profundidades que oscilan entre 0,00 - 0,50 y 4,40-7,50 m, respectivamente, en los puntos donde se ha sondeado. Estos residuos corresponden a vertidos en el pie de los terraplenes que delimitan la balsa.

2.-Horizonte edáfico: representa una capa de escaso espesor (0,15-0,20 m) que se encuentra tapizando los depósitos fangosos, no encontrándose representada en algunos sectores. Corresponde a un antiguo suelo vegetal constituido por arcillas limosas marrón rojizas y negruzcas con algo de arena y raíces.

3.-Depósitos Cuaternarios:

3.1.- Fangos: se trata de lodos constituidos por arcillas fangosas gris negruzcas de consistencia muy blanda, existiendo episodios milimétricos y centimétricos de arena fina en matriz fangosa con compacidad muy suelta-suelta. Aparecen por debajo del antiguo suelo vegetal o directamente sobre el relleno de fosfoyesos, localizándose el techo y el muro a profundidades que oscilan entre 4,40-7,00 y 17,20-32,70 m, respectivamente, en los puntos donde se ha sondeado.

3.2.- Arcillas limosas y arenas: presentan espesores entre 0,50 y 4,00, aproximadamente, apareciendo bajo los fangos, pudiendo no estar representadas en algunos sectores. Se trata de arcillas marrón verdosas y rojizas de consistencia media a firme con manchas negras y ocres; también se reconocen pequeñas intercalaciones arenosas.

3.3.- Arenas, gravas y cantos: Constituye un aluvial grosero con espesores de 2 a 5 m, aproximadamente, situado en el techo del substrato Terciario. Las partículas se muestran redondeadas con distribución textural heterogénea.

4.- Depósito Terciario: sólo aparece representado el tramo inferior correspondiendo a arcillas margosas gris azuladas y marrón verdosas con vetas gris oscuras y machas ocres presentando consistencia media a firme. En los dos sondeos donde se alcanzó esta Formación el techo se cortó a profundidades de 27,20 y 32,70 m. Por su considerable espesor, previsiblemente superior a los 100 m, constituye a nuestros efectos el substrato generalizado del emplazamiento.

La secuencia estratigráfica y los resultados de los ensayos de penetración ponen de manifiesto que el principal problema geotécnico en la zona radica en la existencia de la capa de fangos de la que ya se tenía conocimiento, que en principio alcanzaba la rasante primitiva si bien estaría cubierta por un suelo vegetal que debe corresponder al que hoy se sitúa por debajo de los vertidos de fosfoyeso. Su desarrollo hasta alcanzar materiales de mayor competencia (arcillas limosas y arenas; arenas, gravas y cantos o el substrato generalizado terciario) aumenta con carácter general hacia el SSE oscilando el espesor entre 5-25 m y variando la profundidad del muro entre 8 y 34 m, éste presenta ciertas irregularidades morfológicas según muestra el plano hipsométrico. Por tanto, se puede catalogar este suelo como muy blando y deformable, si bien la cuantificación de los asientos deberá realizarse para diferentes modelizaciones del esquema estratigráfico y de posibles sobrecargas siendo un factor muy importante a tener en cuenta la velocidad con que se producen los incrementos de éstas y la disipación de las presiones intersticiales correspondientes, pues la deformabilidad supone además que la resistencia a esfuerzo cortante sin drenaje sea muy baja (del orden de 1,5-5,0 Tn/m²).

Se recomienda cuantificar los asentamientos diferenciales que pueden producirse bajo la balsa como consecuencia del variable espesor de la capa de fangos ya que ello podría originar fisuraciones en los terraplenes conforme éstos vayan incrementando su altura, especialmente los que tienen un desarrollo lineal en la dirección en que se produce las mayores variaciones de potencia.

Se recomienda que mientras se avanza en la elaboración de este Trabajo y se obtengan datos más determinantes, se adopte la precaución de intensificar las labores de seguimiento en los sistemas de auscultación existentes.

ANTECEDENTES

La ciudad de Huelva se encuentra entre los estuarios de los ríos Tinto y Odiel, la confluencia de los mismos da lugar a la Ría.

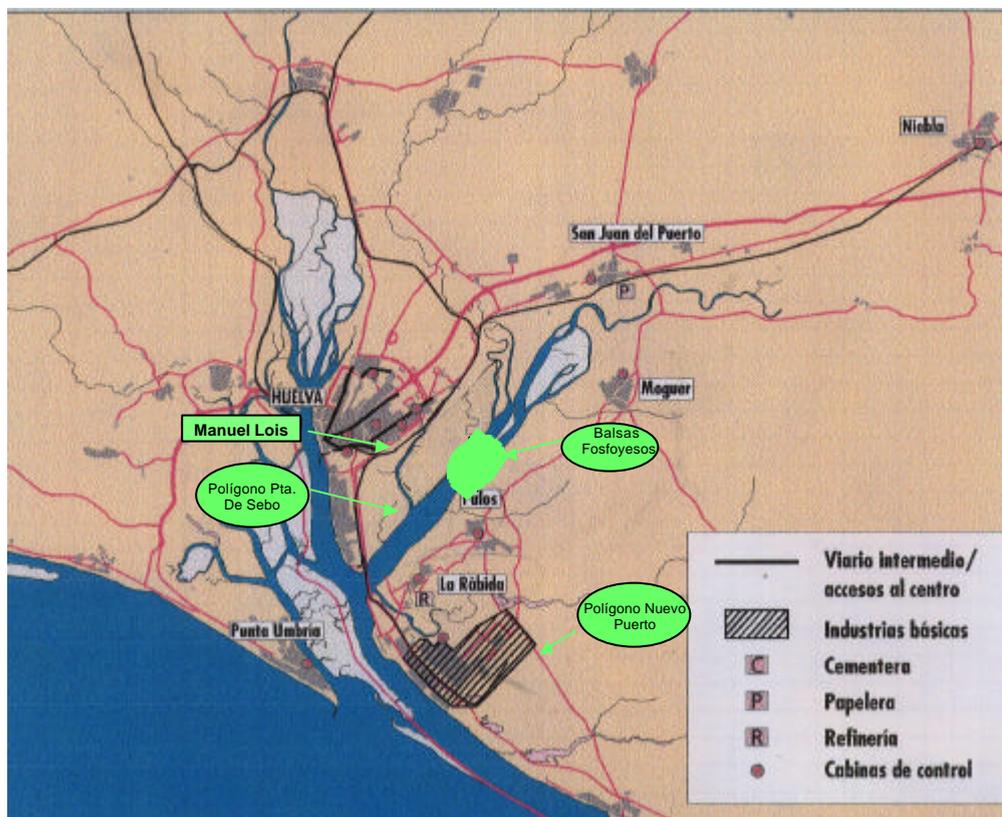


Figura 1: Situación geográfica de la ciudad de Huelva y situación de los polígonos industriales y de las estaciones de muestreo principales para el estudio.

Muy cercano a la ciudad de Huelva encontramos el **Polo Industrial de Huelva**, básicamente industrias de base, principalmente química y metalúrgica aprovechando la riqueza en recursos naturales de tipo minero que posee la provincia (mayor depósito de sulfuros metálicos del mundo). Este polo industrial está formado básicamente por tres polígonos industriales:

1. Polígono Industrial de la Punta del Sebo. Está situado en el término Municipal de Huelva, en la margen izquierda del río Odiel, al sudoeste de la ciudad y a una distancia de alrededor de 1.000 metros. Los núcleos de población más cercanos son Huelva, La Rábida, Palos y Punta Umbría. En él se ubican Foret, Fertiberia, Atlantic Coper y la Central Térmica.

2. Polígono Industrial Nuevo Puerto. Situado en el término municipal de Palos, al sur de la localidad, entre la margen izquierda de estero Domingo Rubio y la margen izquierda del canal del Padre Santo. Los núcleos poblacionales más cercanos son La Rábida, Punta Umbría, Palos y Huelva.

Se ubican en él, Energía e Industrias Aragonesas, ERT (AC) - División Petróleos, Ertisa, Tioxide, Amoniaco-Urea y Foret.

3. Polígono Industrial Tartessos. Situado en término municipal de Huelva, los núcleos poblacionales más cercanos son San Juan del Puerto, Moguer, Huelva y Palos.

Habría que citar también además de estos tres polígonos, otras actividades antropogénicas que deberán considerarse para evaluar los posibles contaminantes que puedan llegar al aire, aguas, suelos, etc., en la Ría de Huelva, a saber:

- 4. La Cementera de Niebla, en la margen izquierda del Tinto.**
- 5. Puerto Autónomo de Huelva.**
- 6. Yacimientos de la zona.**
- 7. Intensa explotación agrícola.**
- 8. Residuos urbanos.**

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) coordina, por encargo de la Junta de Andalucía, la profundización del estudio del impacto de las empresas situadas en la Ría de Huelva sobre el medio ambiente.

El nuevo estudio recoge cuatro nuevas actuaciones cuyos objetivos genéricos son los siguientes:

1. Obtener series temporales de contaminantes en el aire de Huelva y niveles de partículas encaminadas a seguir las incidencias del Polo Químico y recoger datos de interés para el estudio epidemiológico.
2. Establecer la incidencia de contaminantes secundarios, en particular ozono, en el marco de la Provincia de Huelva y sus posibles efectos sobre la vegetación de la Provincia.
3. Estimar la incidencia del posible asentamiento en la Ría de Huelva de Centrales Térmicas, tanto a nivel de contaminación atmosférica como de incidencia sobre los parámetros físico-químicos de las aguas de la Ría de Huelva.
4. Determinar las características geotécnicas de los asentamientos de las balsas de fosfoyesos.

Para alcanzar estos objetivos participarán grupos de investigación de marcado carácter multidisciplinar pertenecientes a la Universidad de Huelva, Universidad de Granada, Universidad Politécnica de Cataluña, el Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), y el CSIC. Los grupos participantes se recogen en el Anexo I de este Informe.

METODOLOGÍA

1. NIVELES Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

1.1. MEDIDAS EN TIEMPO REAL DE LOS NIVELES Y GRANULOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

Desde Mayo de 2003 se cambió la ubicación de la cabina de control de la calidad del aire desde la estación Manuel Lois al Campus Universitario de El Carmen. En Manuel Lois se habían realizado los muestreos de material particulado atmosférico de TSP, PM10 y PM2,5 desde Junio de 1999 hasta Abril de 2003. Los resultados de los estudios realizados en esta estación de muestreo han quedado reflejados en los informes precedentes del Estudio de la Situación Medioambiental y Sanitaria del Entorno de la Ría de Huelva. El traslado de la cabina también implicó al monitor láser GRIMM 1107 que permite medir, en modo continuo, los niveles horarios de PM10, PM2,5 (partículas de diámetro < 2,5 μm) y PM1 (partículas de diámetro < 1 μm), y los captadores de alto volumen MCV para PM10 y PM2,5.

Las medidas con el monitor láser se están realizando con resolución horaria lo cual permite, previa interpretación meteorológica, la identificación de los focos emisores. Además se dispone de los niveles de PM10 obtenidos con un equipo de atenuación beta y gases (NO_x , SO_2 y ozono).

1.2. MUESTREO DE PM10 Y PM2,5

El muestreo en la estación CAMPUS EL CARMEN se está realizando a razón de una muestra de PM10 y otra de PM2,5 por semana, mediante captadores de alto volumen (MCV) con los cabezales de corte PM10 y PM2,5. Las partículas se retienen en filtros de microfibra de cuarzo Schleicher and Schuell QF20.

1.3. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Una vez obtenida la muestra, una porción del filtro (100 / 400 cm^2) es digerida en medio ácido (2,5 ml HNO_3 : 5 ml HF : 2,5 ml HClO_4) para determinar las concentraciones de los elementos de interés asociados a las fases insolubles. Además de la digestión total, se realiza un lixiviado mediante agua de-ionizada (grado mili-Q) de un cuarto de filtro para la determinación de aniones y cationes solubles.

1.4. ANÁLISIS

Las soluciones resultantes de la digestión ácida se analizan mediante ICP-AES e ICP-MS para la determinación de los elementos mayores y traza requeridos.

Los lixiviados se analizan mediante Electroforesis capilar (EFC) para la cuantificación de cloruros, nitratos y sulfatos y mediante colorimetría FIA para la determinación de los niveles de amoníaco. Finalmente los niveles de C total se determinan mediante un analizador elemental LECO.

El contenido en carbonato y sílice se determina estequiométricamente a partir de los contenidos de Ca, Mg y Al, en base a ecuaciones experimentales obtenidas previamente ($3 \times \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{SiO}_2$; $1,5 \times \text{Ca} + 2,5 \times \text{Mg} = \text{CO}_3^{2-}$). Los niveles de carbono no mineral se obtienen de la diferencia entre el carbono total y el carbono en carbonatos. Finalmente el sulfato marino se determina también estequiométricamente a partir de las relaciones de Na y Cl en agua marina. En este informe se presentan datos de trazas desde el 29-5-03 al 30-5-04 en la estación Campus El Carmen y aniones entre el 29-5-03 al 6-12-03.

2. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO FOTOQUÍMICO

El objetivo de los trabajos de estimación del impacto fotoquímico consiste en el diseño de un procedimiento, basado en la utilización de un modelo de simulación fotoquímico acoplado a un modelo meteorológico de alta resolución, para la estimación de la incidencia en la calidad del aire de la instalación de nuevas centrales térmicas en la zona, estimando la posibilidad de superación de niveles legales a la luz de la información proporcionada por la red de medidas de ozono.

El trabajo se basa en la identificación y modelización de una colección finita de situaciones meteorológicas de interés, sobre las que se realizará una simulación de impacto de contaminantes fotoquímicos a partir de dos escenarios: una situación "actual" a partir de la estimación de emisiones con los mejores datos disponibles y una situación en la que se han añadido las emisiones procedentes de las actividades a evaluar. Planteando el interés en las diferencias más que en los resultados absolutos del campo de inmisiones se minimiza la incertidumbre debido al conocimiento parcial de las emisiones potenciales en el área (aunque se sea consciente de que el sistema atmosférico, fuertemente no lineal, no responde proporcionalmente a los incrementos de algunos de sus componentes).

En el modelo se utilizará la información de que se dispone sobre usos del suelo e inventario de emisiones.

El plan de trabajo consta de las siguientes tareas individualizadas:

- elección de un número finito de escenarios meteorológicos a partir de la explotación de las series de medidas locales y la experiencia previa, justificando su interés potencial;
- identificación de uno o varios escenarios actuales de emisión a partir de la información de base proporcionada por el inventario de emisiones para la zona;
- estimación de varios escenarios de emisión previstos, de acuerdo a los diferentes proyectos de instalación de nuevos grupos de generación, considerados realistas a partir de la información actualmente disponible;

- simulación numérica de los campos meteorológicos para los distintos patrones identificados, previa determinación de condiciones adecuadas de ejecución (pasos de malla, ámbito espacial y temporal, etc), recopilación y preparación de los datos de entrada, etc.;
- simulación numérica de los procesos fotoquímicos en los escenarios de emisión "actuales" y "previstos", según los puntos anteriores;
- valoración de los resultados (condicionamientos meteorológicos, representatividad climática, etc).

2.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS ESCENARIOS METEOROLÓGICOS: EL ENTORNO GEOGRÁFICO

La zona de estudio abarca la confluencia de las cuencas de los ríos Odiel y Tinto, abierta a la costa con una orientación aproximadamente WNW-ESE. El Odiel discurre según un eje N-S, procedente de la serranía de Huelva, que se alza como una barrera orográfica en disposición zonal, mientras que el cauce del Tinto, en su tramo medio y bajo, tiene una orientación según una dirección aproximadamente NE-SW, enlazando en último término con la amplia cuenca del Guadalquivir (Figura 2). Hacia el sureste se encuentra la amplia llanura marismal de la desembocadura del Guadalquivir, flanqueada en su vertiente oriental por la serranía de Ronda, ya bastante alejada de Huelva.

Éstos son los grandes elementos cuya interacción condiciona básicamente el régimen de flujos en el emplazamiento: la proximidad al Atlántico, abierto por mar a través del golfo de Cádiz, de donde procede la influencia de los grandes sistemas béricos en su desplazamiento hacia el Este, la cuenca del Guadalquivir, con un importante efecto de canalización, la cuenca del Odiel, que conecta con la serranía de Huelva la Norte, con importantes efectos orográficos, y finalmente el Mediterráneo que, a través del Estrecho, encuentra en la Serranía de Ronda una barrera orográfica de considerable influencia en situaciones de Levante.

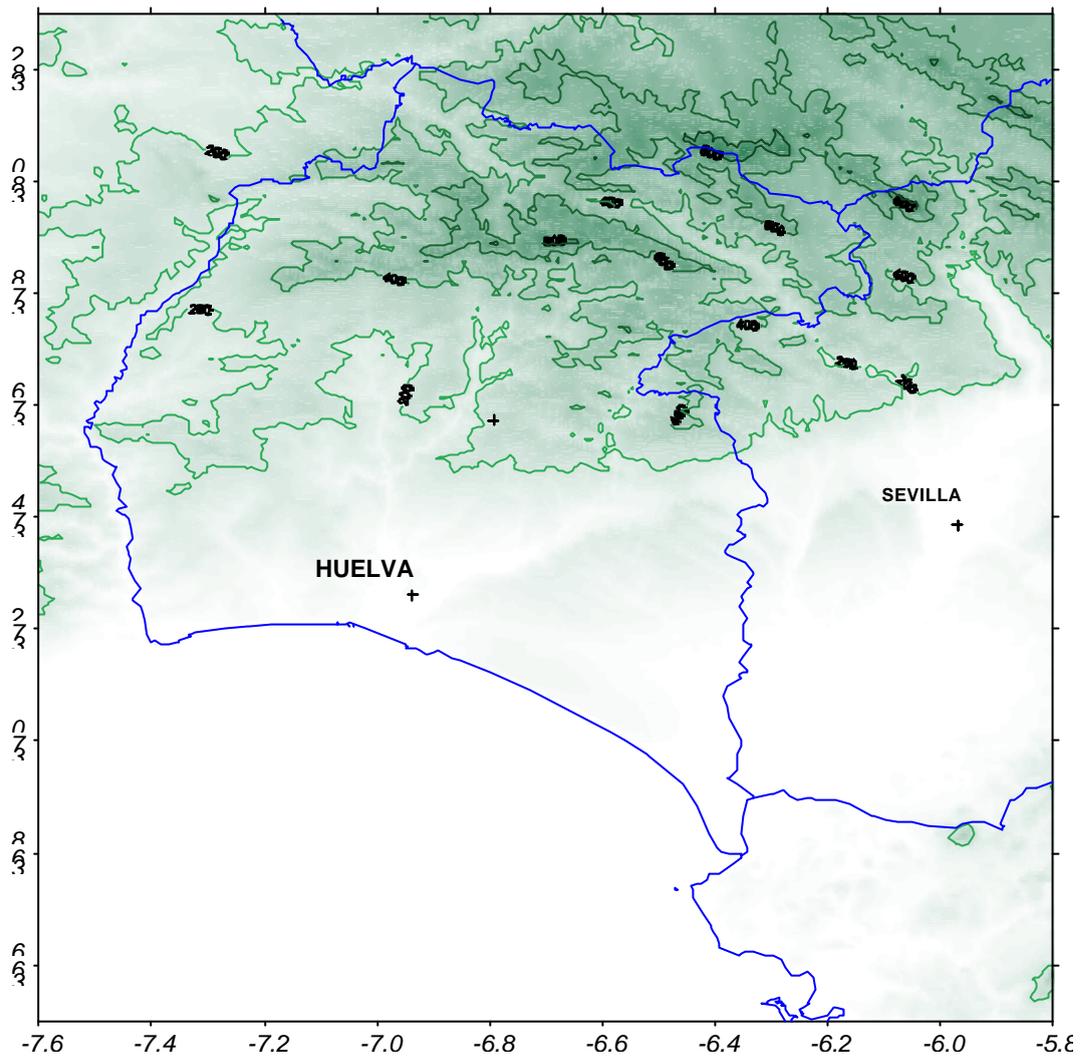


Figura 2: Mapa de situación.

2.2. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO FOTOQUÍMICO

La estimación del impacto fotoquímico se define en torno al desarrollo de un procedimiento basado en la utilización de un modelo numérico de simulación fotoquímica (acoplado a un modelo meteorológico de alta resolución), para la evaluación de la incidencia en la calidad del aire de la instalación de nuevas centrales térmicas en la zona de la Ría de Huelva.

A continuación se resume, de forma esquemática, los diferentes apartados que se cubren en esta tarea, a saber:

- Identificación de un escenario actual de emisión (escenario base), a partir de la información proporcionada por el inventario de emisiones.
- Estimación de varios escenarios de emisión previstos, de acuerdo a los diferentes proyectos de instalación de nuevos grupos de generación.
- Simulación numérica de los campos meteorológicos para los distintos escenarios meteorológicos, seleccionados en la primera tarea.

- Simulación numérica de los procesos fotoquímicos en los escenarios de emisión actuales y previstos.
- Valoración de los resultados (condicionamientos meteorológicos, representatividad climática, etc.).

2.2.1. Definición del área y mallas

La elección del área que será cubierta por el modelo fotoquímico quedará determinada por el área definida por los modelos meteorológico y de emisiones. Se trabajará con al menos dos mallas: Una de ellas, la mas gruesa, cubrirá la península ibérica y proveerá las condiciones de contorno. La segunda malla, mas fina que la primera, se centrará en la zona de Huelva cubriendo todas las emisiones relevantes y los puntos de interés a sotavento de dichas fuentes de contaminantes, como por ejemplo la ciudad de Sevilla.

2.2.2. Sensibilidad a las emisiones

La formación de ozono se encuentra químicamente ligada a las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Esta interdependencia es altamente compleja y da lugar a que los procesos de formación de contaminantes tengan carácter no lineal y acoplado. Una de las consecuencias fundamentales de estos procesos no lineales es que existen una variedad de combinaciones de NOx y COV que dan lugar a la formación de cantidades similares de ozono, es decir que no hay una relación unívoca entre el ozono y sus precursores. Es importante destacar entonces que una determinación correcta solamente de la concentración de ozono no implica un conocimiento adecuado de la distribución de NOx y COV ni de las reacciones fotoquímicas más relevantes que dan lugar a su formación. Por lo tanto, bajo diferentes configuraciones de emisiones la respuesta de los niveles de ozono a cambios en sus precursores dependería de la elección del escenario.

Debido a que existe una gran incertidumbre asociada a la determinación de las emisiones en la zona bajo estudio y teniendo en cuenta que las relaciones no lineales entre la formación de niebla fotoquímica y sus precursores no permitiría dilucidar la respuesta que las concentraciones de ozono tendrían ante el agregado de nuevas fuentes con un solo escenario, se escogerán un número discreto de condiciones plausibles para estimar los campos de ozono. Posteriormente se realizará el cálculo fotoquímico con el agregado de las centrales de generación eléctrica para cada uno de estos escenarios. De esta manera se creará una matriz de respuesta relativa de los niveles de ozono al agregado de nuevas fuentes de emisión en función de la configuración de las emisiones de NOx y COV.

3. SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL IMPACTO SOBRE LA RÍA DEL VERTIDO TÉRMICO PROCEDENTE DE LAS TRES FUTURAS CENTRALES PROYECTAS

3.1. MODELADO HIDRODINÁMICO

Para la simulación de la hidrodinámica fluvial se ha utilizado el modelo numérico NAUTILUS, mientras que para la propagación numérica de las mareas se ha empleado el modelo MAREAS. Ambos modelos resuelven las ecuaciones de “Shallow Water” (SWE) o de aguas someras:

Ecuación de Continuidad:

$$\partial_t \mathbf{h} + \partial_x [(\mathbf{h}+h)U] + \partial_y [(\mathbf{h}+h)V] = 0 \quad (1)$$

Ecuaciones del Momentum:

$$\begin{aligned} \partial_t u + u \partial_x u + v \partial_y u - f v = -g \frac{\rho_0}{\rho} \partial_x \mathbf{h} - g \frac{1}{\rho} \partial_x \mathbf{a} + \\ + \partial_x [2K_H(\partial_x u)] + \partial_y [K_H(\partial_x v + \partial_y u)] + \partial_z [K_z(\partial_z u)] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \partial_t v + u \partial_x v + v \partial_y v + f u = -g \frac{\rho_0}{\rho} \partial_y \mathbf{h} - g \frac{1}{\rho} \partial_y \mathbf{a} + \\ + \partial_x [K_H(\partial_x v + \partial_y u)] + \partial_y [2K_H(\partial_y v)] + \partial_z [K_z(\partial_z v)] \end{aligned} \quad (3)$$

Siendo \mathbf{h} la altura de superficie libre, u y v las componentes horizontales de la velocidad, U y V las componentes de la velocidad horizontal promediadas verticalmente, h es la profundidad, f es el parámetro de Coriolis, ρ es la densidad, ρ_0 es la densidad media de referencia en la superficie, g es la aceleración debida a la gravedad, K_H y K_Z son los coeficientes de viscosidad horizontal y vertical respectivamente y \mathbf{a} es la integral de la densidad entre 0 y z .

Los modelos son de tipo quasi-3D, en el sentido que la variación vertical de las variables es descompuesta en términos de una serie de funciones bases ortogonales (polinomios de Legendre de grado par). Ambos modelos usan esquemas de interpolación de bajo orden Q1/P0 en dirección horizontal (e.g. interpolación bi-lineal de cuatro nodos para la velocidad y una interpolación constante a trozos para el campo de presiones). NAUTILUS resuelve las ecuaciones (1), (2) y (3) estacionarias por medio del algoritmo de Newton-Raphson combinado con una técnica de salto local para evitar el “checkerboarding”. Utilizando el método iterativo del Gradiente Conjugado para resolver el sistema de ecuaciones en cada iteración.

El modelo MAREAS ha sido desarrollado para simular la corriente y la altura de superficie libre inducida por la marea astronómica en dominios marinos donde puede ser aplicada la hipótesis de aguas someras. Para ello resuelve las SWE transitorias, usando una técnica de descomposición armónica en el tiempo. Esta técnica conduce a un problema estacionario no-lineal por cada frecuencia, el cual es linealizado por medio de un método de Picard estándar y es resuelto por un método iterativo preconditionado.

3.1.1. Malla computacional y calibración de parámetros hidrodinámicos

El área de estudio está limitado por la línea de costa y los siguientes transectos (Figura 3); el primero ubicado en la boca de la Ría (Puerto deportivo de Mazagón), el segundo cercano al puente de “Santa Eulalia” en la ciudad de Huelva y el último de ellos ubicado aguas arriba de las balsas de residuos mineros junto a la isla “Santa”.

La malla computacional utilizada ha consistido en 3200 elementos y 3531 nodos, con un tamaño elemental medio de 100 m x 100 m. Como la Ría de Huelva muestra una marcada estructura de mezcla vertical, se han empleado simulaciones bidimensionales (2DH).



Figura 3: Malla computacional y condiciones de contorno hidrodinámicas.

En el modelo NAUTILUS se ha impuesto como condición de contorno velocidad nula sobre la línea de costa y la velocidad media del río y/o del vertido térmico en los contornos de entrada del dominio computacional (río y puntos de vertido de las térmicas). Mientras que se impuso una condición de gradiente nulo en la boca de la Ría. La velocidad media de los ríos Tinto y Odiel se calcula, dividiendo el caudal anual de dichos ríos por su correspondiente sección vertical en el contorno. Los caudales utilizados fueron de $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ para el río Tinto y de $14,8 \text{ m}^3/\text{s}$ para el río Odiel.

Las condiciones de contorno para la boca de la Ría se obtuvieron del mareógrafo ubicado en el puerto deportivo de Mazagón (“Instituto Hidrográfico de la Marina”, 2002), mientras que en el contorno del río Odiel se calcularon con la diferencia de amplitud (23 cm) y fase (10 min.) entre este contorno (Muelle norte, Huelva) y el mareógrafo anteriormente mencionado.

Finalmente, la condición de contorno en el río Tinto fue ajustada mediante una técnica de minimización multidimensional para cada una de las frecuencias. Esta técnica consistió en minimizar la función del error relativo para la amplitud y la fase en un nodo de la malla computacional. Una vez definidas las condiciones de contorno para cada una de las frecuencias de marea en el río Tinto, se realizó también un ajuste de los coeficientes de viscosidad turbulenta horizontal y fricción con fondo.

3.1.2. Validación del modelo hidrodinámico

El rango y los períodos de las series temporales de corrientes (Este-Oeste y Norte-Sur) y de alturas de superficie libre medidas del 28/05 al 28/06 de 2003 en los estudios del CSIC dentro del Proyecto sobre el Diagnóstico Ambiental de la Ría de Huelva, se compara satisfactoriamente con los resultados del modelo de propagación de mareas (Figura 4). Este gráfico también muestra un acuerdo razonable con los resultados del modelo de propagación entre los ciclos medidos de mareas vivas y mareas muertas.

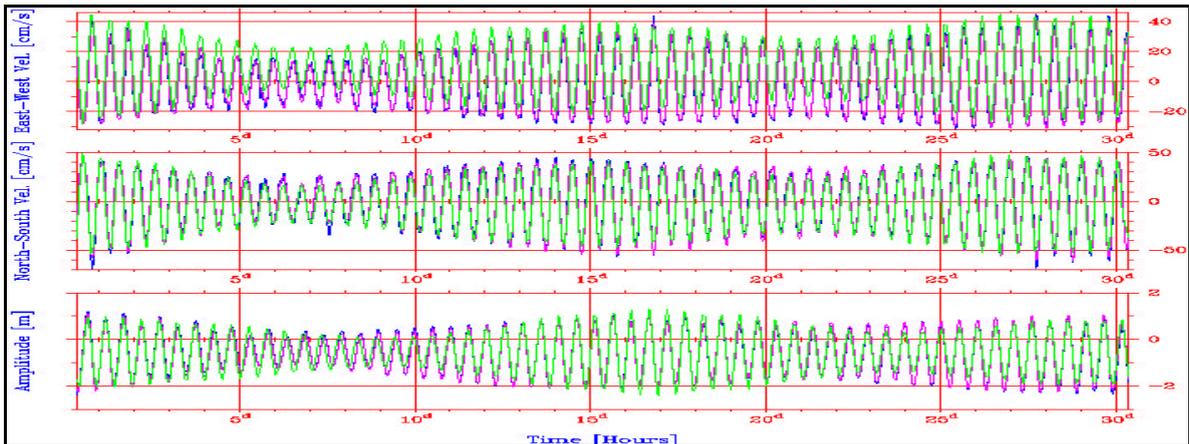


Figura 4: Comparación de los resultados del modelo MAREAS con las series temporales de corrientes y altura de superficie libre registradas del 28/05 al 28/06 de 2003. Los resultados del modelo están representados en color verde y los datos medidos en azul.

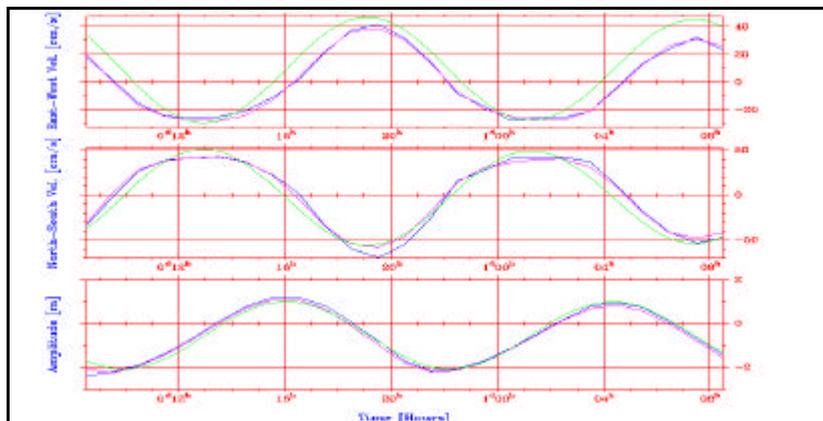


Figura 5: Comparación de los resultados del modelo MAREAS con las series temporales de corrientes y nivel del mar medidas el 28 de mayo de 2003. Los resultados del modelo están representados en color verde y los datos medidos en azul.

Una comparación más detallada entre los datos medidos el 28 de mayo de 2003 y los resultados numéricos, revelan que el ajuste continúa siendo aceptable para las series temporales de corrientes y altura de superficie libre (Figura 5). Esta escala temporal más amplia muestra la evolución diaria de las corrientes y la variación de altura de la superficie libre asociadas a los ciclos de bajamar y pleamar en el punto de medidas.

3.2. MODELADO DE LA DISPERSIÓN DE LAS PLUMAS TÉRMICAS

El proceso de dispersión de un contaminante disuelto en el medio acuoso (eg. pluma térmica) está gobernado por la ecuación de convección-difusión. Esta expresión de la conservación de la masa (ecuación 4), establece un balance entre los siguientes términos, de izquierda a derecha respectivamente: la variación local, los términos advectivos debidos al transporte por las corrientes, los términos difusivos o turbulentos y los términos debidos las términos de fuente/decaimiento.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u_s C) + \frac{\partial}{\partial y}(v_s C) - \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + SC \quad (4)$$

donde:

C : concentración contaminante (mg/l) o temperatura (°C)

u, v : componentes horizontales del vector velocidad de la corriente (m/s)

$K_x = K_y = K_H$: coeficiente de dispersión turbulenta horizontal (m²/s)

S : término de fuente/decaimiento (1/100)

En esta aproximación en 2 dimensiones (2DH), la ecuación anterior reproduce la dispersión del contaminante de forma integrada en la columna de agua. Además, mediante este planteamiento euleriano de la ecuación de convección-difusión, podemos relacionar más eficientemente el modelo de dispersión con los datos del modelado de la hidrodinámica (río y mareas). Como se detalla a continuación, la aproximación euleriana se discretiza mediante el Método de los Elementos Finitos, utilizándose así la misma malla computacional en el modelado de la hidrodinámica y de la dispersión de las plumas térmicas.

El proceso de discretización de esta ecuación de gobierno se divide en dos: temporal (evolución de la concentración con el tiempo) y espacial (según los 3 ejes coordenados). La discretización temporal según el método de las características se basa en una expansión local de Taylor de la ecuación de convección-difusión de Zienkiewics y Taylor. Se define un nuevo sistema de coordenadas (x') según las direcciones *características* de la ecuación, en las que los términos convectivos se anulan al seguir las direcciones características (dirección de convección según el campo de velocidades V_i):

$$dx_i' = dx_i - V_i dt \quad (5)$$

De esta forma, el problema se transforma en uno simplemente difusivo simplificando el proceso directo de resolución pero aportando mayor número de términos de segundo orden en el tiempo. Como discretización espacial (horizontal), se utiliza la formulación en elementos finitos, definiendo las funciones de forma isoparamétricas de tipo Q1 para representar la variación de la concentración en cada elemento.

3.2.1. Calibración del modelo de transporte

La tarde del 31 de diciembre de 1998 se produjo una rotura del muro norte de contención de la balsa de fosfoyesos situada en la margen derecha del río Tinto. Esta rotura provocó un aporte de unos 50.000 m³ de aguas ácidas al río Tinto. El vertido se produjo de forma concentrada durante unas horas (hacia las 15:00), viéndose reducido y controlado durante la noche siguiente.

Este aporte de las aguas de las balsas (y probablemente de materiales en suspensión) provocaron un descenso del pH en el medio receptor como indicaban los registros de los diferentes pH-metros situados en las Rías del Tinto y de Huelva, y especialmente el del punto de registro de la Consejería de Medio Ambiente del Muelle de Petroleros (Figuras 6 y 7).

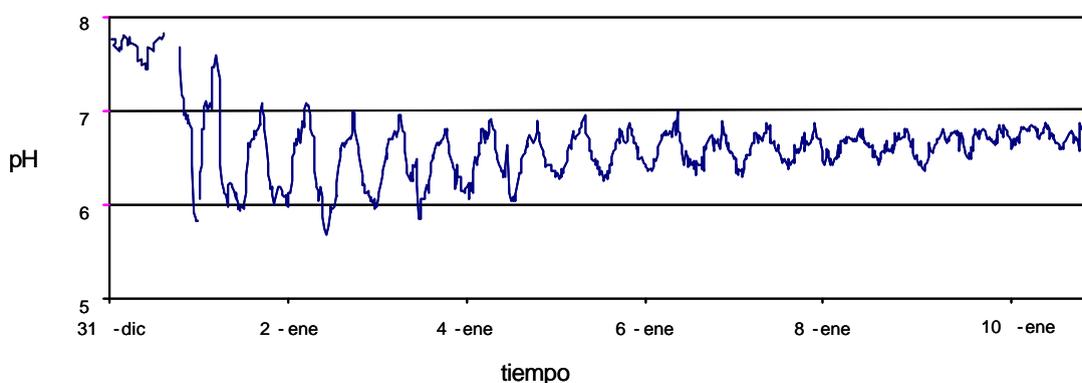


Figura 6: Evolución del pH en el Muelle de Petroleros a partir del vertido.



Figura 7: Detalle de la evolución del pH en el Muelle de Petroleros el día 31 de diciembre de 1998.

De esta evolución del pH se constata lo siguiente:

- Existe una oscilación del pH entre valores mínimos (5,5) y valores basales (pH 7-7,5), correspondiendo al paso del contaminante por la zona del registro. Eso implica

una débil difusión del producto frente a la advección dominado por las mareas (corrientes muy importantes).

- El efecto ácido del vertido sobre el medio desaparece muy lentamente; no existe realmente una recuperación del valor inicial / basal (pH = 7,75) ni pasados los 15 días de datos.

Con el modelo hidrodinámico refinado y con los datos del vertido real sucedido el 31/12/1998 en la Ría de Huelva, se realizó una predicción ciega de cómo habría sido la evolución del pH en el Muelle de Petroleros a lo largo de un periodo de 15 días. Estos cálculos y su comparación con datos reales de pH nos permitió:

- Confirmar las hipótesis de mezcla vertical del sistema estuárico (modelado 2DH).
- Validar el modelo hidrodinámico y de transporte de contaminates en su conjunto (Corrientes y coeficientes de difusión turbulenta horizontal).

Los parámetros introducidos en el modelo fueron:

- Vertido de 50.000 m³ durante 2,14 horas (vertido continuo del estero con un caudal de 6,48 m³/s).
- Fecha y hora vertido: 31/12/98, a las 16:00 (15:00 UT)
- Simulación durante 2 semanas.

Se realizaron 4 test para validar y calibrar el modelo, combinando valores distintos de los parámetros libres. Se ensayaron tres valores distintos del coeficiente de difusión turbulenta ($K_h = 5, 10$ y $20 \text{ m}^2/\text{s}$), dos posibles localizaciones del vertido (salida del estero y extremo norte de las balsas) y dos horas distintas de rotura (a las 14 h y a las 16 h). De ellas la salida norte de la balsa es el caso real y las otras tres se usaron para mostrar análisis de sensibilidad a la localización y al coeficiente de difusión.

Dado que el pH no es una magnitud conservativa ni lineal, el cálculo de pH de la mezcla requeriría cálculos complicados de especiación química, que no pueden llevarse a cabo con el modelo SEASCAPE. En vez de estos cálculos, se determinó experimentalmente la variación del pH en mezclas binarias de agua de mar y agua de fosfoyesos. Es decir, que el valor del pH se calcula según la expresión:

$$\text{pH}(x) = \frac{1}{1.405} \log\left(\frac{121.28}{x}\right) \quad (6)$$

donde x es la proporción de aguas ácidas de la balsa de fosfoyesos sobre agua de mar representada en el modelo de transporte.

En las Figuras siguientes se comparan los resultados de la variación del pH obtenidos en los distintos test del modelo con las mediciones realizadas durante el vertido. En primer lugar se analizó la sensibilidad a diferentes puntos de vertido y a diferentes coeficientes de difusión durante las horas inmediatamente posteriores al

vertido (Figura 8). En todos los casos, existía una oscilación del pH de acuerdo a las fases de marea (llenante y vaciante), correspondiéndose bastante bien con las mediciones (existe un ligero desfase probablemente debido al desconocimiento exacto del punto de medición). El resultado de los cálculos es sensible al punto de vertido, obteniéndose una mejor correspondencia para el vertido en el lado norte de la balsa, tal como aconteció. El resultado es también sensible al coeficiente de difusión turbulenta (K_h), obteniéndose mejor ajuste para valores bajos de K_h (1 ó 5 m^2/s). Estos valores de K_h son habituales en el transporte de masa en estuarios

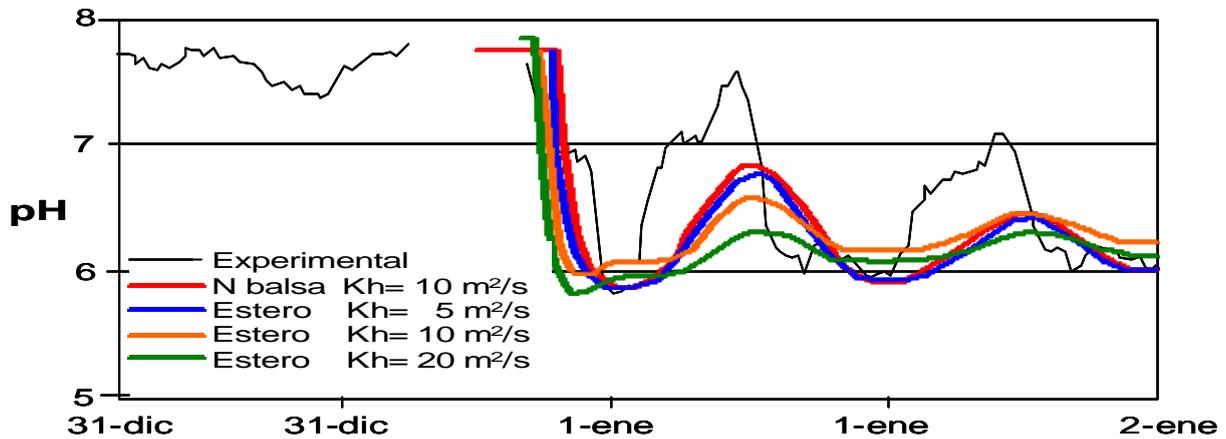


Figura 8: Comparación medidas del pH con los resultados del modelo para dos puntos de vertido y diferentes valores de coeficiente de difusión (K_h).

En segundo lugar (Figura 9), se comparó la evolución de los datos experimentales y calculados a medio plazo (11 días). Se observó en ambos casos una tendencia progresiva a la recuperación de los valores iniciales de pH. Sin embargo, esta recuperación es muy lenta y confirma la permanencia de la contaminación en la Ría del Tinto.

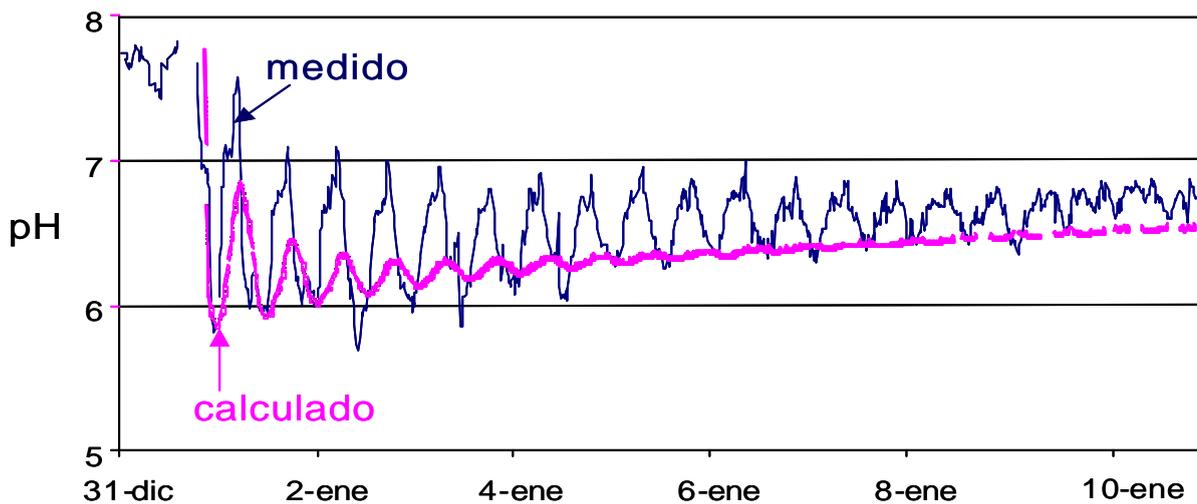


Figura 9: Comparación medidas del pH con los resultados del modelo para el vertido en el lado norte de la balsa y K_h de 1 m^2/s .

4. INFORME GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO SOBRE EL TERRENO EN EL QUE SE PRODUCEN LOS VERTIDOS DE FOSFOYESOS

4.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Localización: El área de estudio se localiza en la cuenca del río Tinto en su margen derecha, al SE de la ciudad de Huelva. Concretamente se sitúa en una zona industrial próxima al polígono Punta de Sebo. La Figura 10 muestra el plano de situación de la zona bajo estudio cuyo uso anterior era el de marismas, no agrícolas.

Características topográficas: Se trata de una zona de marismas, más o menos llana, sobre la que se asienta unas balsas de fosfoyesos, algunas de ellas ya colmatadas y revegetadas, que elevan la rasante entre 15,00-20,00 m.s.n.m.



Figura 10: Situación de los ensayos de campo.

4.2. TRABAJOS REALIZADOS

4.2.1. Trabajos de campo

La campaña de campo llevada a cabo consistió en la realización de los siguientes trabajos:

		CANTIDAD	PROFUNDIDAD
SONDEOS MECÁNICOS A ROTACIÓN		SGR-1	26,00 m
		SGR-2	26,60 m
		SGR-3	20,00 m
		SGR-4	35,00 m
ENSAYOS REALIZADOS EN EL INTERIOR DEL SONDEO	ENSAYOS S.P.T.	18	
	MUESTRAS INALTERADAS A PERCUSIÓN	10	
ENSAYO DE PENETRACIÓN CONTINUA TIPO ‘DPSH’		1	
CALICATAS DE RECONOCIMIENTO		-	
TOMA DE MUESTRAS ALTERADAS	EN CALICATAS	-	
	EN TESTIGO DE SONDEO	-	

4.2.1.1. Sondeos mecánicos a rotación

Se han realizado sondeos que han alcanzado profundidades entre 20,00 y 35,00 m, respecto de las rasantes actuales.

Para este estudio el fin primordial de los sondeos era el de extraer muestras representativas del suelo y subsuelo que permitieran definir las potencias e identificar la naturaleza y características geotécnicas de los diferentes niveles, a fin de obtener los datos necesarios para el análisis y definición de las condiciones de cimentación más idóneas del proyecto objeto de estudio.

Se ha empleado una máquina perforadora rotativa para sondeos tipo Mobi-Drill B80 R, con tubos testigos, martillo de fondo y barrena helicoidal.

La perforación se realizó con pequeños diámetros, entre 101 y 86 mm., generalmente, utilizando tubos testigos sencillos y/o dobles. Si el terreno sufría desprendimientos, se procedía a la entubación del sondeo con tubería de revestimiento, polímeros o bien se utilizaban lodos bentoníticos que mantienen las paredes.

Además de la extracción continua de testigo, a diferentes profundidades se realizaron ensayos geotécnicos de penetración (S.P.T.) y extracción de muestras inalteradas, siempre que fue posible y se requiriese.

En el caso concreto del área de estudio, y hasta una profundidad de al menos 35,00 m, se diferencian los materiales que se especifican en los perfiles de los sondeos que se adjuntan a continuación:

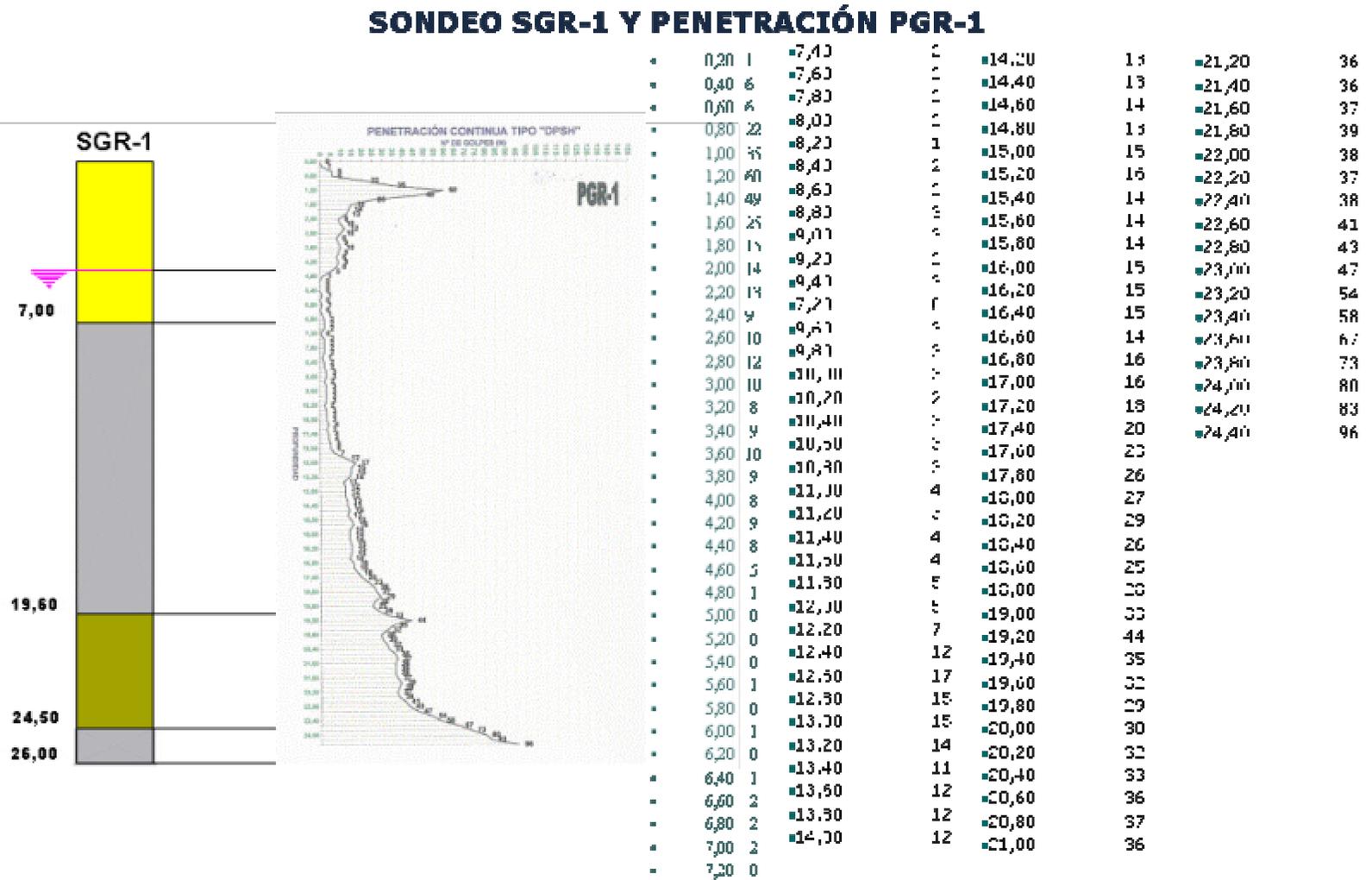
SONDEO SGR-1 *	
PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
0,00 - 7,00	Relleno. Fosfoyesos blanquecinos que ganan consistencia hacia la base.
7,00 - 19,60	Fangos. Arcillas fangosas gris negruzcas de consistencia muy blanda y plástica. Se pueden apreciar algunos restos de conchas.
19,60 - 20,70	Arcilla marrón verdosa de consistencia media a dura con manchas negras y ocre.
20,70 - 24,50	Arcilla marrón rojiza de consistencia media con intercalaciones arenosas centimétricas.
24,50 - 26,00	Arenas, gravas y cantos cuarcíticos redondeados en matriz areno -limosa marrón rojiza. Existen intercalaciones donde predomina la fracción gravilla y grava.

* **Nota:** no se llegó a alcanzar el firme debido a graves problemas en la perforación.

La Figura 11 muestra el sondeo mecánico a rotación SGR-1.

SONDEOS MECÁNICOS A ROTACIÓN

Figura 11: Sondeo SGR-1.



SONDEO SGR-2

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
0,00 - 0,50	Relleno granular. Arenas, gravas y cantos en matriz areno limosa marrón rojiza.
0,50 - 5,20	Relleno. Fosfoyesos blanquecinos que ganan consistencia hacia la base.
5,20 - 5,35	Suelo vegetal antiguo. Arcillas limosas marrón rojizas y negruzcas con algo de arena y raíces.
5,35 - 17,20	Fangos. Arcillas fangosas gris negruzcas de consistencia muy blanda y plástica. Se pueden apreciar algunos restos de conchas.
17,20 - 18,10	Arcilla marrón rojiza de consistencia media con intercalaciones arenosas centimétricas.
18,10 - 22,10	Arenas, gravas y cantos cuarcíticos redondeados en matriz areno -limosa marrón rojiza. Existen intercalaciones donde predomina la fracción gravilla y grava.
22,10 - 27,20	Arcillas margosas gris azuladas y marrón verdosas con vetas gris oscuras y manchas ocres

SONDEO SGR-3 *

PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
0,00 - 0,50	Relleno granular. Arenas, gravas y cantos en matriz areno limosa marrón rojiza.
0,50 - 5,10	Relleno. Fosfoyesos blanquecinos que ganan consistencia hacia la base.
5,10 - 5,30	Suelo vegetal antiguo. Arcillas limosas marrón rojizas y negruzcas con algo de arena y raíces..
5,30 - 17,30	Fangos. Arcillas fangosas gris negruzcas de consistencia muy blanda y plástica. Se pueden apreciar algunos restos de conchas.
17,30 - 18,60	Arcilla marrón rojiza de consistencia media con intercalaciones arenosas centimétricas.
18,60 - 20,00	Arenas, gravas y cantos cuarcíticos redondeados en matriz areno-limosa marrón rojiza. Existen intercalaciones donde predomina la fracción gravilla y grava.

* **Nota:** la justificación de la profundidad máxima alcanzada, es decir, el no perforar hasta el Terciario, al utilizarse este sondeo de apoyo de SGR-2 para la realización de un ensayo de bombeo.

SONDEO SGR-4	
PROFUNDIDAD (m)	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
0,00 - 5,20	Relleno. Fosfoyesos blanquecinos que ganan consistencia hacia la base.
5,20 - 5,35	Suelo vegetal antiguo. Arcillas limosas marrón rojizas y negruzcas con algo de arena y raíces..
5,35 - 28,70	Fangos. Arcillas fangosas gris negruzcas de consistencia muy blanda y plástica. Se pueden apreciar algunos restos de conchas.
28,70 - 29,20	Arcilla marrón verdosa y rojiza de consistencia media a dura con manchas negras y ocre. Existe pequeñas intercalaciones arenosas centimétricas.
29,20 - 32,70	Arenas, gravas y cantos cuarcíticos redondeados en matriz areno -limosa marrón rojiza. Existen intercalaciones donde predomina la fracción gravilla y grava.
32,70 - 35,40	Arcillas margosas gris azuladas y marrón verdosas con vetas gris oscuras y manchas ocre.

4.2.1.2. Ensayos S.P.T. (Standard Penetration Test)

Consiste en introducir un tomamuestras partido en el interior del sondeo determinando la resistencia del suelo a la penetración, al tiempo que permite obtener una muestra representativa para su identificación, aunque con su estructura muy deteriorada.

Para realizar el ensayo, es necesario limpiar previamente el fondo de la perforación, manteniendo la entubación, si fuera necesaria, por encima del nivel de comienzo del ensayo.

Los ensayos se han realizado con una unidad de golpeo automático ML-60 incorporada a la máquina de sondeos RL-48- L, que presenta las siguientes características:

- Peso de la maza 63,5 Kg.
- Carrera de caída libre 76 cm.
- Cuenta golpes electrónico digital.

- Cumple las normas NI de la SIMSFE siguientes:
- DPSH. Prueba dinámica muy pesada.
- SPT. Prueba dinámica standard.
- Cumple la norma UNE 103_801_94.
- Régimen de golpeo entre 20 y 30 g.p.m.

El ensayo se inicia hincando el tomamuestras una longitud de 15 cm, anotando el numero de golpes necesarios, se seguirá hincando el tomamuestras hasta que penetre 30 cm más anotando el numero de golpes en intervalos de 15 cm. El valor del golpeo requerido para penetrar los 30 centímetros define la resistencia a la penetración estándar o N. Si los 30 cm de penetración no pueden lograrse con 100 golpes, el ensayo de hinca se dará por terminado, asignándole un resultado de rechazo. En función del golpeo obtenido, se estableció la siguiente clasificación.

Suelos Cohesivos		Suelos Granulares	
Nº Golpes/30 cm	Consistencia	Nº Golpes/30 cm	Compacidad
0-2	Muy Blanda	0-4	Muy Suelta
3-5	Blanda	4-10	Suelta
6-15	Media	10-30	Media
16-25	Firme	30-50	Compacta
>25	Dura	>50	Muy compacta

Se detallan a continuación los valores de N obtenidos en el sondeo:

ENSAYOS S.P.T.					
SONDEO SGR-1	Profundidad	N	SONDEO SGR-2	Profundidad	N
	5,70 - 6,30	17		4,20 - 4,80	18
	10,60 - 11,20	0		8,60 - 9,20	0
	15,00 - 15,60	0		10,50 - 11,10	0
	22,30 - 22,90	15		18,70 - 19,13	R
	24,50 - 24,79	R		21,50 - 22,10	45
	-	-		26,60 - 27,20	8

ENSAYOS S.P.T.		
	Profundidad	N
SONDEO SGR-4	2,90 - 3,50	37
	11,00 - 11,60	0
	16,60 - 17,20	0
	20,40 - 21,00	0
	25,00 - 25,60	0
	29,25 - 29,85	38
	34,80 - 35,40	20

Nota: en el caso del sondeo SGR-3, no se realizaron ensayos de SPT dado que esta perforación se llevó a cabo como apoyo de SGR-2 (muy próxima a ésta) para la realización de un ensayo de bombeo en el acuífero existente en la capa granular grosera situada sobre el techo del substrato Terciario.

4.2.1.3. Extracción de muestras inalteradas

Durante la realización de los sondeos rotativos, en suelos cohesivos, y a distintas cotas, se extrajeron muestras representativas para realizar sobre ellas ensayos geotécnicos de laboratorio a fin de clasificar los materiales constituyentes de los diferentes niveles y definir sus propiedades físico-mecánicas.

El procedimiento de extracción puede ser a percusión, presión o rotación. El primer método es muy parecido al ensayo S.P.T., diferenciándose en el tomamuestras empleado que es del tipo GMPV de pared gruesa, de mayor sección que el del S.P.T., diseñado especialmente para que la muestra se recupere en el interior de un tubo de plástico que posteriormente es sellado herméticamente con tapas de goma y/o parafina, a fin de mantener intactas las características físico-mecánicas hasta que la muestra pueda ser ensayada.

Al igual que en el ensayo S.P.T., en las extracciones realizadas a percusión se utiliza el golpeo correspondiente al tramo de los 15 cm intermedios con el que se define un valor no standard, que denominamos N_i , que en cierto modo puede correlacionarse con el N.

Para suelos blandos fangosos, está especialmente indicado el tomamuestras de pared delgada o Shelby.

Finalmente, en suelos cohesivos duros, pueden obtenerse muestras inalteradas del mismo testigo, parafinando la muestra una vez extraída de la batería de perforación.

MUESTRAS INALTERADAS					
SONDEO SGR-1	Profundidad	Ni	SONDEO SGR-2	Profundidad	Ni
	3,00 - 3,60	14		3,00 - 3,60	27
	10,00 - 10,60	0		8,00 - 8,60	0
	21,70 - 22,30	19		18,10 - 18,70	30
	-	-		26,00 - 26,60	20

ENSAYOS S.P.T.		
SONDEO SGR-4	Profundidad	Ni
	2,30 - 2,90	34
	10,40 - 11,00	0
	34,20 - 34,80	31

Nota: en el caso del sondeo SGR-3, no se extrajeron muestras inalteradas dado que esta perforación se llevó a cabo como apoyo de SGR-2 (muy próxima a ésta) para la realización de un ensayo de bombeo en el acuífero existente en la capa granular grosera situada sobre el techo del substrato Terciario.

4.2.1.4. Medida del nivel piezométrico

En caso de existir agua en el subsuelo, el sondeo permite acotar el nivel piezométrico y realizar un seguimiento del mismo a lo largo del tiempo. Si el agua se encuentra a escasa profundidad, también será detectada en las calicatas.

El certero conocimiento de la profundidad a la que se encuentra el agua freática es muy importante para el estudio de las condiciones de cimentación y un factor determinante ante obras subterráneas. A la hora de realizar las medidas del nivel piezométrico, hay que tener en cuenta que este nivel puede estar influenciado por el agua aportada durante las maniobras de perforación, por ello se recomienda que estas medidas no se realicen hasta pasadas unas 24 horas, no obstante, como recomendación general se deberá comprobar la posición de este nivel con un margen temporal más amplio, haciéndolo al menos de manera previa al comienzo de la obra.

La lecturas piezométricas realizadas para la elaboración de este informe determinó la existencia de agua a las siguientes profundidades:

MEDIDAS DEL NIVEL FREÁTICO					
Fecha		SGR-1	SGR-2	SGR-3	SGR-4
17-Mayo-04	Cota (m)	- 4,20	-	-	-
18-Mayo-04	Cota (m)	-	- 4,00	-	-
19-Mayo-04	Cota (m)	-	-	-4,05	-
20-Mayo-04	Cota (m)	-	-	-	-1,90
7-Junio-04	Cota (m)	- 4,70	-4,67	- 4,25	- 1,92
17-Junio-04	Cota (m)	- 4,70	- 4,54	- 4,30	- 1,75

4.2.1.5. Ensayo de bombeo

Se llevó a cabo un ensayo de bombeo, utilizando el sondeo SGR-2 como pozo de bombeo, principal o de control y SGR-3 como satélite, es decir sondeo de apoyo para tomar las lecturas de descenso del nivel piezométrico a medida que se bombeaba, manteniendo un caudal constante, desde SGR-2 que estaba situado a una distancia de 6,60 m.

Este tipo de ensayo nos permite determinar las propiedades hidráulicas (transmisividad y permeabilidad) del acuífero situado en el techo de las margas, para poder predecir posteriormente su comportamiento bajo situaciones diversas, evaluar la disponibilidad de recursos de agua subterránea, etc. Los datos obtenidos se están evaluando y se aportarán las conclusiones en el siguiente documento, no obstante, no se descarta la realización de un nuevo ensayo de bombeo que corrobore los datos obtenidos en el anterior.

4.2.1.6. Ensayos de penetración continua tipo “DPSH”

Consiste en medir la resistencia que opone el terreno a ser punzonado mediante la hincada de una puntaza utilizando una energía dinámica imprimida por una maza que golpea cayendo desde una altura de 50 cm.

En este ensayo se anota el número de golpes necesarios para hincar la puntaza en el terreno a intervalos de 20 cm, valor de n20 o NB, dándose por terminado a la profundidad prefijada o bien, cuando se logre rechazo, fijado entre 150 y 200 golpes.

El resultado se expresa mediante representación gráfica del golpeo en función de la profundidad.

Se ha utilizado un penetrómetro tipo “DPSH”, modelo ML-76-A suministrado por ROLATEC S.L., con las siguientes características:

- Peso de la maza 63,5 Kg.
- Carrera de caída libre 76 cm.
- Cuenta golpes electrónico digital.

- Varillas admisibles 1m.
- Montado sobre autobastidor con ruedas autopropulsado.
- Tracción 4 x 4
- Elevación y abatimiento hidráulico.
- Cumple las normas NI de SIMSFE siguientes:
 - DPSH Prueba dinámica muy pesada.
 - SPT Prueba dinámica standard.
 - Cumple la norma UNE 103_801_94
 - Régimen de golpeo entre 20 y 30 g.p.m.
 - Capacidad de extracción 11 Tm., con el mismo equipo.
 - Accionamiento: Motor Honda de 13 CV.
 - Compartimentos laterales para transporte de material.
 - Posibilidad opcional de acoplarle un cabezal de rotación.

Se ha realizado un ensayo, que denominamos PGR-1, que ha alcanzado el rechazo a una profundidad de 24,40 m. No obstante, dada la textura y consistencia de los materiales predominantes (fangos) este ensayo no es el más adecuado para ver la resistencia por punta, por lo que en una próxima campaña de campo se realizarán ensayos denominados Piezoconos, que se llevan a cabo mediante una presión continua sobre una puntaza que se va hincando en el terreno. Además de la resistencia por punta obtenemos medidas del rozamiento lateral y de las presiones intersticiales, cuestión de especial interés en estos tipos de terrenos.

Se puede estimar de forma aproximada que $N = N_B$ para N_B comprendido entre 8 y 12. Para valores mayores, N_B resulta ser algo superior a N . Dhalberg (1.974) propuso dos correlaciones, no estrictamente equivalentes, aplicables únicamente a suelos arenosos:

$$\log(N_B) = 0,035N + 0,668 \pm 0,044$$

$$N = 25,0 \log(N_B) - 15,16 \pm 1,16$$

4.2.2. Ensayos de laboratorio

Con las muestras que se disponen hasta el momento extraídas de los sondeos, se ha programado una serie de ensayos de laboratorio con la finalidad de caracterizar geotécnicamente las diferentes capas diferenciadas y niveles, en su caso.

En principio, antes de proceder a realizar los ensayos mecánico-geotécnicos de especial relevancia para los objetivos de este estudio, se ha procedido a seleccionar una serie de muestras para determinar de ellas parámetros físicos y químicos, según lo especificado en la memoria de Proyecto, entre los cuales se han estimado como prioritarios los siguientes, encontrándose ya en realización, los siguientes:

ENSAYOS

Análisis granulométrico de suelos por tamizado (UNE 103101/95)

Determinación límites de Atterberg (UNE 103103/4/94)

Análisis mineralógico por difracción de Rx

Determinación del contenido en materia orgánica (UNE 103204/93)

Determinación del contenido en carbonatos en suelos mediante el Calcímetro de Bernard (UNE 103200/93)

Determinación cuantitativa del contenido en sulfatos solubles de un suelo (UNE 103201/6)

Determinación del grado de acidez del suelo. Método de Baumann-Gully.

Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa (UNE 103300/93)

Densidad húmeda

Densidad seca

Densidad real

Densidad relativa (UNE 103302/94)

Análisis químico del agua freática en muestras extraídas a diferentes profundidades.

Posteriormente, en base a los resultados anteriores, se seleccionarán las muestras para realizar:

Compresión simple en suelos (UNE 103400/93)

Corte directo en suelos, UU, en muestras inalteradas (UNE103401/98)

Corte directo en suelos, CU, en muestras inalteradas (UNE103401/98)

Ensayo triaxial UU ()

Ensayo triaxial CU ()

Ensayo triaxial CD ()

Ensayo edométrico (UNE 103405-94)

Ensayo de inundación bajo carga

RESULTADOS

1. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS Y CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

1.1. MEDIDAS EN TIEMPO REAL DE LOS NIVELES Y GRANULOMETRÍA DE LAS PARTÍCULAS

En este informe se presentan los resultados obtenidos de los muestreos realizados en las estaciones de control de calidad del aire Campus El Carmen de la Junta de Andalucía entre Junio de 2003 y Mayo de 2004.

El 22 de Mayo de 2003 se trasladó la estación Manuel Lois a una nueva ubicación en el Campus Universitario de El Carmen, aunque debido a trabajos de mantenimiento de los equipos, se dejó de muestrear desde el 27 de Marzo hasta el 27 de Mayo de 2003. En la actualidad los equipos se encuentran situados en la cabina Campus El Carmen a unos 2 Km al Este de la estación Manuel Lois, próximo a la salida hacia Sevilla por la autovía A-49. Los muestreos se reanudaron el 27 de Mayo de 2003.

Desde Diciembre de 2000 hasta Marzo de 2003 se instaló en la cabina de Manuel Lois un monitor láser GRIMM 1107, el cual permite determinar en continuo los niveles horarios de partículas torácicas (inferiores a 10 micras ó PM10), alveolares (inferiores a 2,5 micras ó PM2,5) y muy finas (inferiores a 1 micra ó PM1). A partir de Mayo de 2003, el equipo se instaló en la nueva cabina de control, ubicada en el Campus El Carmen de la Universidad de Huelva. Durante el año 2003, el monitor GRIMM estuvo operativo solamente el 62% de los días debido a problemas técnicos. Por ello, tanto en la Figura 12 como en la Tabla 1 las concentraciones de PM10 han sido completadas con los niveles obtenidos con el monitor beta una vez corregidos por el factor correspondiente (ver Anexo II). La operatividad del monitor GRIMM entre Enero y Junio de 2004 ha sido un 71%. En este sentido hay que resaltar la avería en el equipo entre Diciembre de 2003 y Enero de 2004.

De acuerdo con la Directiva 1999/30/CE las medidas de los niveles de PM10 obtenidas con equipos automáticos deben compararse, siguiendo las directrices de la normativa EN12341, con las obtenidas mediante equipos manuales de PM10 de referencia basados en técnicas gravimétricas para la determinación de los niveles de PM. Para el desarrollo de este estudio las medidas obtenidas con el monitor GRIMM, así como las obtenidas con el analizador de atenuación beta de la Junta de Andalucía, fueron intercomparados con las medidas gravimétricas obteniéndose los correspondientes factores de corrección (ver Anexo II).

En la Tabla 1 y en la Figura 12 se encuentran resumidos los niveles mensuales de PM10, PM2,5 y PM1 entre Junio de 2003 y Mayo de 2004, deduciéndose las siguientes conclusiones:

-Las medias obtenidas para los doce meses considerados de 2003 y 2004 han sido $37 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, $24 \mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$ y $18 \mu\text{g PM}_1/\text{m}^3$, similares a los valores obtenidos en 2001 y 2002 ($38 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, $20 \mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$ y $15 \mu\text{g PM}_1/\text{m}^3$ para 2001 y $36 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$, $19 \mu\text{g PM}_{2,5}/\text{m}^3$ y $16 \mu\text{g PM}_1/\text{m}^3$, para 2002). El valor obtenido se encuentra

por debajo del límite propuesto por el Real Decreto 1073/2002 y Directiva 1999/30/CE para el año 2005 ($40 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$).

-Si consideramos el límite diario de $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ que entrará en vigor a partir del año 2005, se han alcanzado 80 superaciones en el año 2003. Si se descuentan las superaciones debidas a intrusiones saharianas (62 días), se obtienen un total de 12 superaciones atribuibles a causas antropogénicas en 2003. Por tanto, en el periodo de estudio entre Junio de 2003 a Mayo de 2004 se hubiera cumplido los requisitos propuestos para el año 2005 (35 superaciones anuales $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La alta concentración media obtenida en PM_{10} en Febrero de 2004 se debe a que durante este mes, y por problemas técnicos en el monitor GRIMM, se muestreó tres semanas con continuas intrusiones de masas de aire procedente del norte de África. El número de superaciones del límite diario de PM_{10} para el año 2005 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ debidas a causas antrópicas se ha reducido desde el año 2001 (41 días), 2002 (30 días) hasta el periodo de estudio de Junio de 2003 a Mayo de 2004 (12 días). Esta disminución se puede interpretar debido al menor impacto del tráfico al que está sometido la estación Campus El Carmen y la mayor distancia al Polígono Industrial Punta del Sebo en comparación con la estación Manuel Lois, lo que impide un impacto directo de los penachos de los polígonos industriales sobre la estación de muestreo.

-La relación $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ ha sido 0,65, superior a las obtenidas en el año 2001 (0,52) y 2002 (0,52) en la estación Manuel Lois. La variación en la proporción de los niveles de $\text{PM}_{2,5}$ y PM_{10} , entre otras causas, puede ser debida al fallo en el muestreo con el monitor GRIMM durante diciembre de 2003 a enero de 2004.

-Las superaciones del valor límite diario debidas a intrusiones de masas de aire norteafricanas, se concentran en los meses de Febrero a Marzo y en los meses de Verano, mientras que las atribuibles a causas antropogénicas, relacionadas con emisiones industriales o urbanas se registran puntualmente en Primavera, Junio-Septiembre y Noviembre-Diciembre. Estos resultados concuerdan con los presentados previamente.

Tabla 1: Niveles mensuales medios de PM10, PM2,5 y PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y días que superan el valor límite diario propuesto para el 2005 ($50 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$), registrados en la estación Campus El Carmen desde junio 2003 a mayo de 2004. Se indican el número de superaciones atribuidas a intrusiones saharianas (N>50Sahara). *Debido a la baja disponibilidad de datos, la serie de PM10 en Diciembre de 2003 y Enero de 2004, se ha completado con las medidas obtenidas con el monitor Beta, corregidas por sus correspondientes factores.

FECHA	PM-10	PM-2,5	PM-1	n>50	N>50Sahara
2003					
JUNIO	40	20	14	7	7
JULIO	33	16	12	7	7
AGOSTO	46	25	19	13	13
SEPTIEMBRE	36	18	13	3	1
OCTUBRE	21	15	11	0	0
NOVIEMBRE	27	21	16	3	2
DICIEMBRE	24	SD	SD	2	0
2004					
ENERO	28	SD	SD	2	1
FEBRERO	69	58	46	19	17
MARZO	44	26	16	10	9
ABRIL	36	20	14	5	2
MAYO	37	25	17	9	9
ANUAL 2003-04	37	24	18	80	68

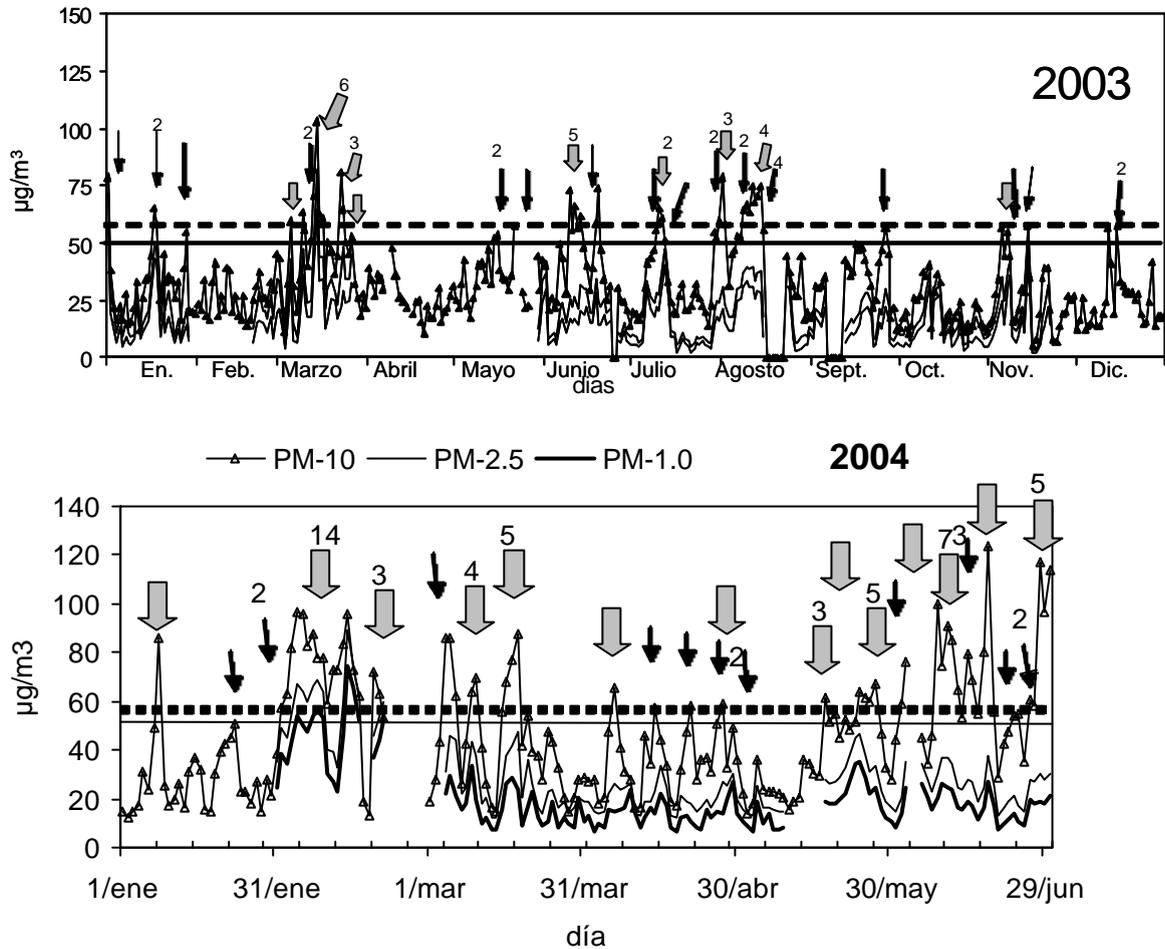


Figura 12: Variación estacional de los niveles medio diarios de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 desde Enero de 2003 a Junio de 2004. Entre Enero y Abril de 2003 se registraron los niveles en la estación Manuel Lois, y desde Mayo de 2003 en Campus El Carmen. Las flechas negras indican superaciones del valor límite diario establecido para el 2005 ($50 \mu g PM_{10}/m^3$, línea sólida) atribuibles a causas antropogénicas. Las flechas grises indican las superaciones del citado límite diario atribuibles a causas saharianas. La línea discontinua indica el valor límite diario establecido para 2003 ($60 \mu g PM_{10}/m^3$) y 2004 ($55 \mu g PM_{10}/m^3$). *Debido a la baja disponibilidad de datos en 2003, la serie de PM_{10} se ha completado con las medidas obtenidas con el monitor Beta, corregidas por sus correspondientes factores.

-Los niveles de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 muestran una tendencia a incrementar en verano (Figuras 12 y 13, y Tabla 1), con excepción de los altos niveles registrados en invierno como consecuencia de los impactos puntuales de los penachos de los polígonos industriales. Una tendencia mucho más suave se observa en los niveles de $PM_{2.5}$ y PM_1 . La proporción de partículas alveolares ($PM_{2.5}$) en PM_{10} disminuye claramente de invierno a verano como consecuencia de los mayores aportes relativos antropogénico (mayoritariamente partículas finas) respecto a los de resuspensión (dominantemente

partículas gruesas) (Figuras 12 y 13). Paralelamente, se ha observado una disminución en los meses de verano de contaminantes gaseosos (sobre todo NO_x), una mayor proporción de masas de aire procedentes del Norte de África y una mayor resuspensión de partículas debida a la dinámica convectiva estival. Los máximos en SO_2 registrados en la estación Campus El Carmen son esporádicos obteniéndose principalmente bajo vientos de componente sur y coincidiendo con la intrusión de masas de aire norteafricanas.

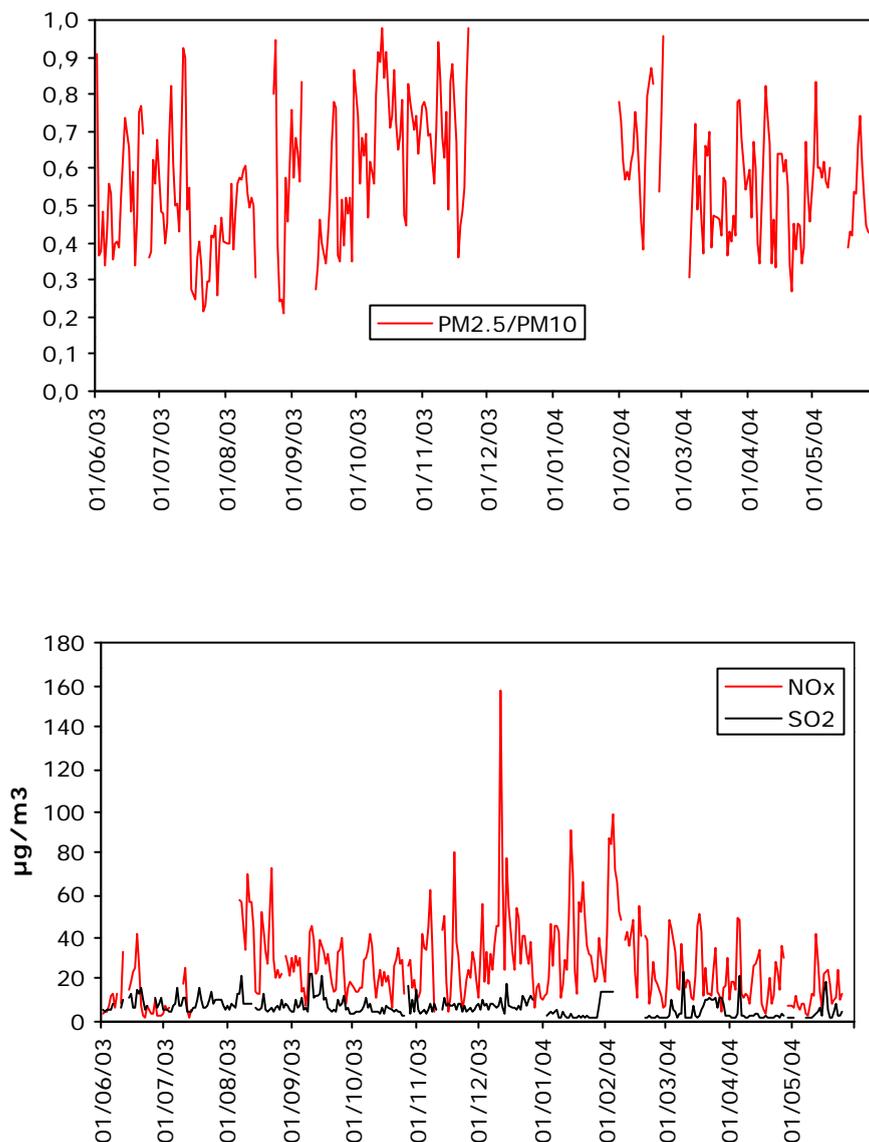
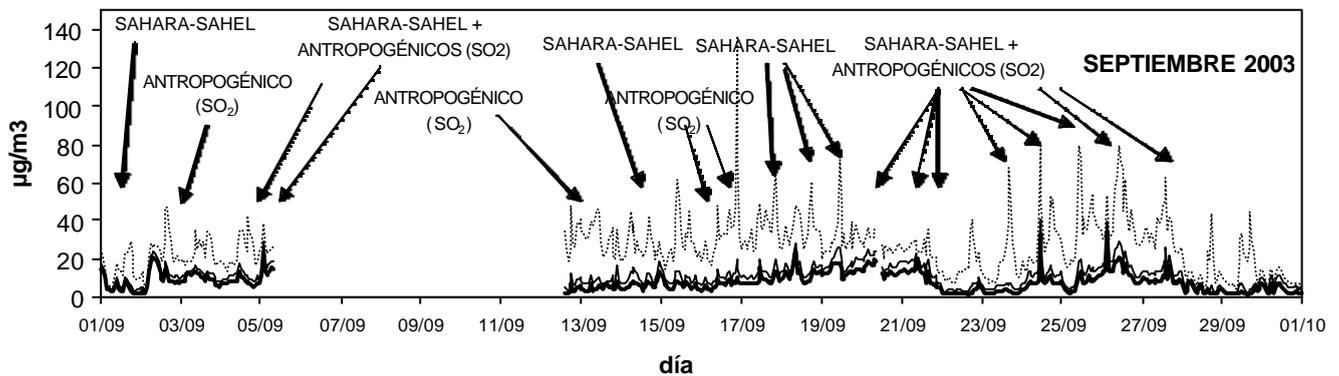
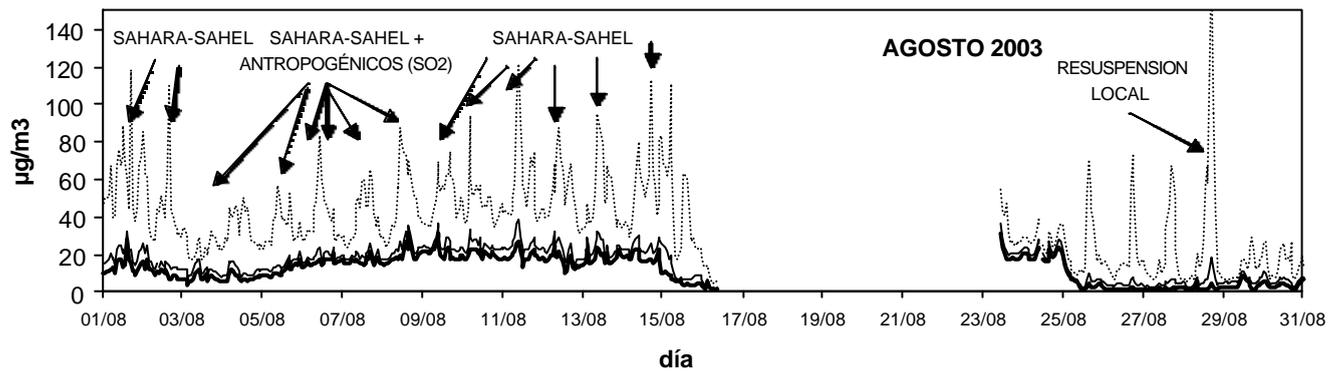
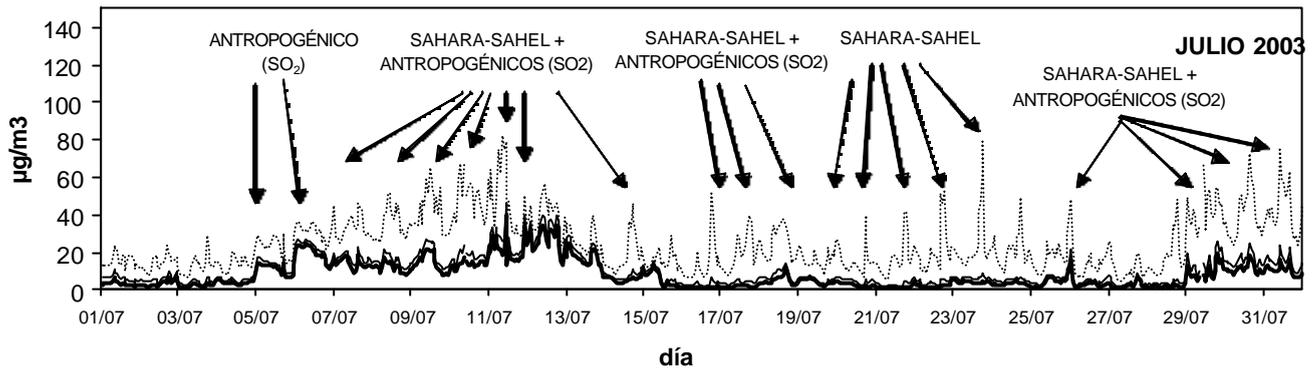
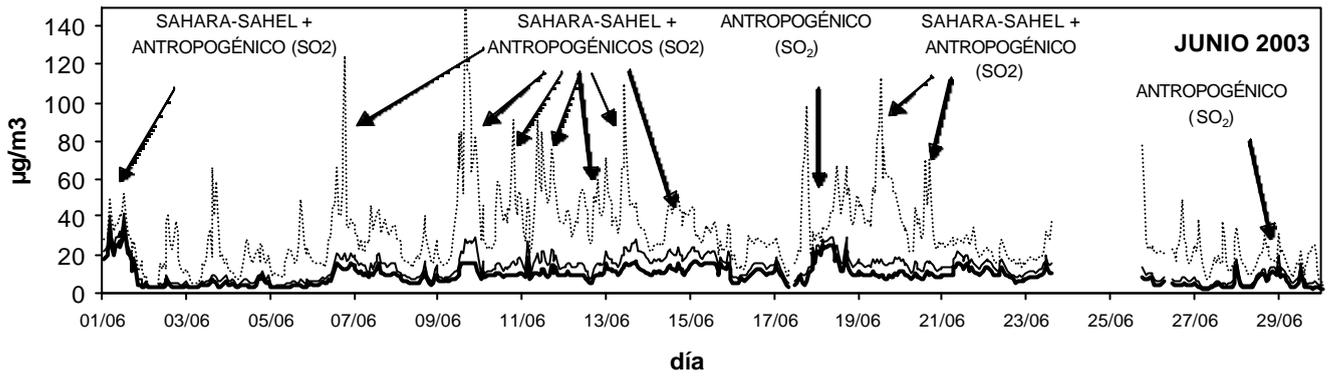


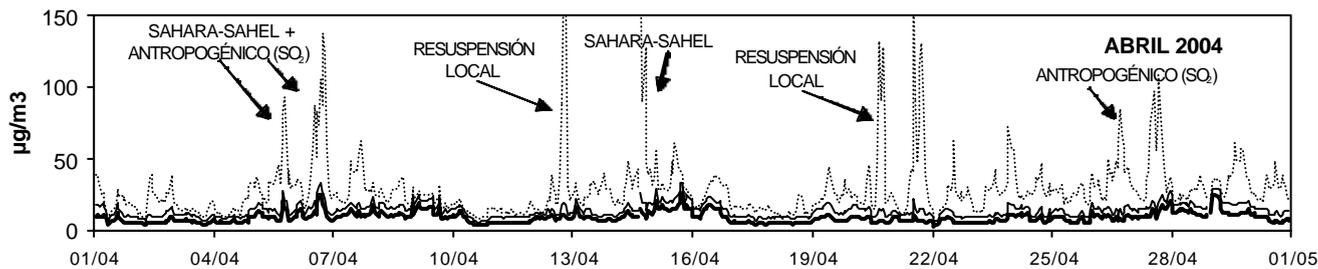
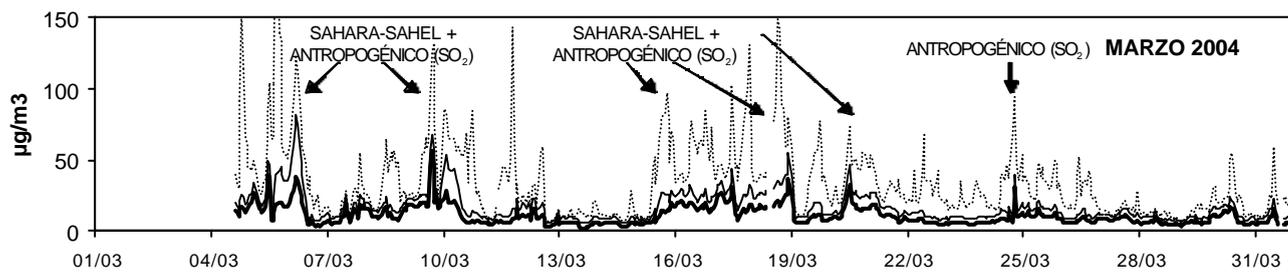
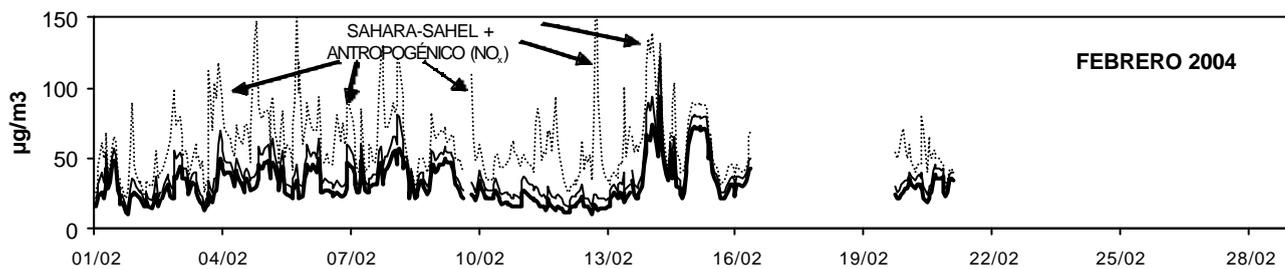
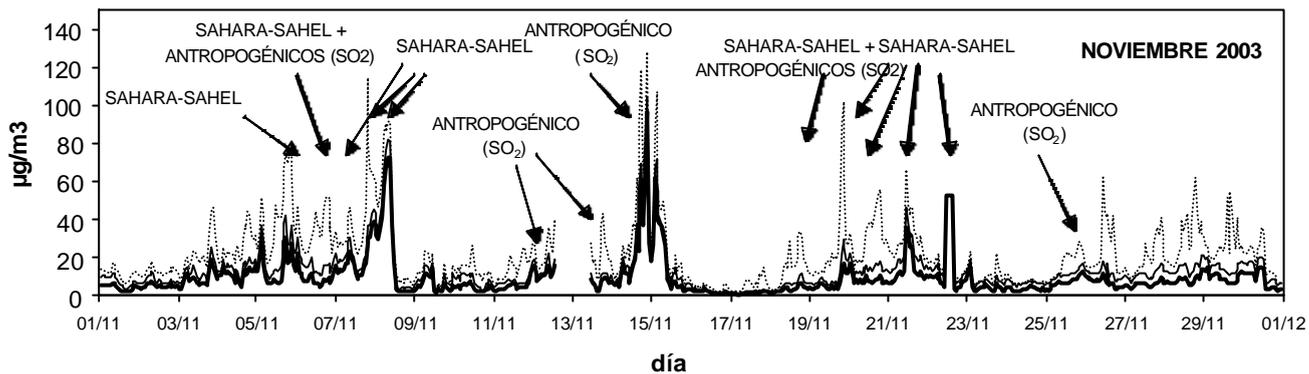
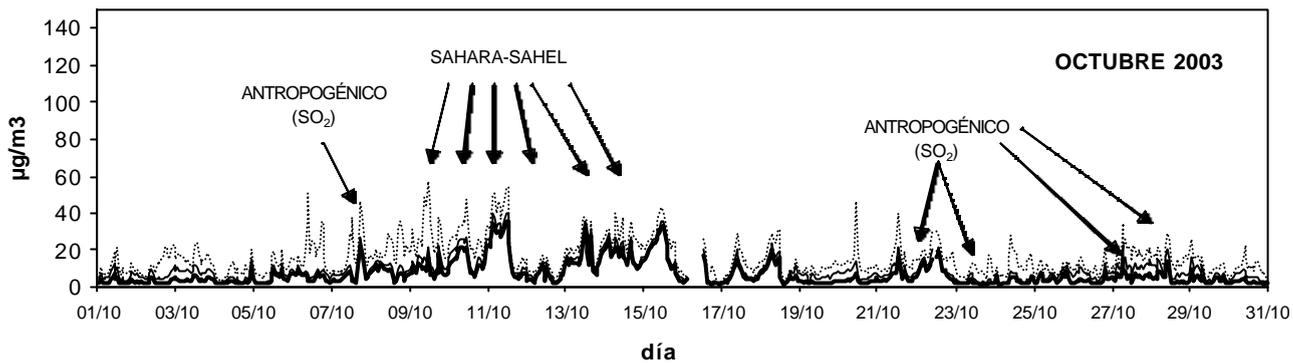
Figura 13: Variación estacional de los niveles diarios de $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ y NO_x y SO_2 en la cabina de Control de la Calidad del Aire de Campus El Carmen (Huelva) entre junio de 2003 a mayo de 2004.

- El estudio detallado de las series temporales de medias horarias de las fracciones del material particulado y de los contaminantes gaseosos ha permitido identificar varios tipos de eventos con niveles elevados de PM en Huelva tal como se distinguió entre los

años 1999-2002. En la Figura 13 se presentan los resultados obtenidos en 2003/2004 a partir de las medidas del monitor GRIMM. Se han identificado periodos con niveles de PM1 muy elevados (hasta $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en valores horarios, durante periodos nocturnos. Debido al impacto de penachos de origen industrial, acompañados con altos niveles de SO_2 procedente del Polígono Industrial de la Punta del Sebo, y en concreto de Atlantic Copper, se ha identificado frecuentes periodos de varios días de duración con altos niveles de fondo de PM1.

- Otros eventos poseen elevados niveles de PM10, y en menor proporción PM2,5 y PM1, interpretados a través de la intrusión de masas de aire con importante carga de material particulado procedente del norte de África y resuspensiones locales. En este sentido, el estudio de retrotrayectorias con el modelo HYSPLIT 4, y el análisis de imágenes satélite de SEAWIFS, NAAPS y SKIRON han sido de gran utilidad.





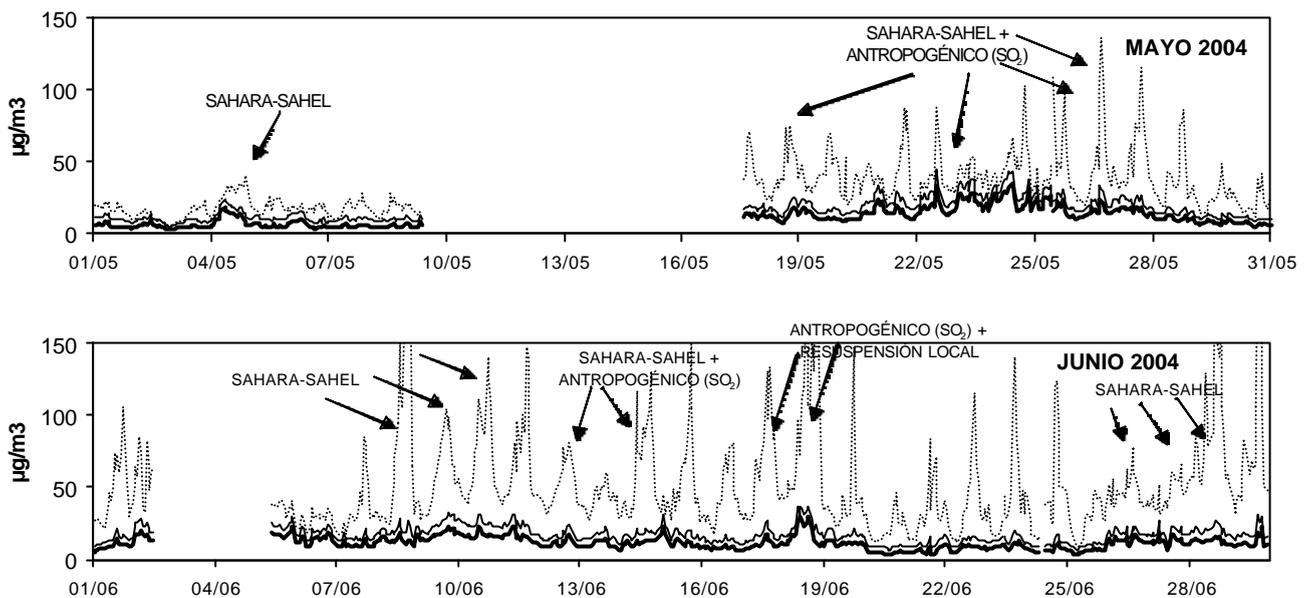


Figura 14: Series temporales de valores medios horarios de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ en el periodo junio de 2003 a junio de 2004. Se indican los eventos antropogénicos y las intrusiones saharianas (Sahara-Sahel). Entre paréntesis se indica si los episodios antropogénicos están relacionados con incrementos de los niveles de SO₂ y/o NO₂).

1.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE PM₁₀ Y PM_{2,5}

En la Tabla 2 se presentan las concentraciones diarias medias, mínimas y máximas de componentes mayores y traza en PM₁₀ y PM_{2,5} entre el 29 de Mayo de 2003 y 30 de Mayo de 2004 en la estación Campus El Carmen. Se han analizado un total de 44 muestras diarias de PM₁₀ y 43 de PM_{2,5}. A continuación se resumen los resultados más relevantes:

- Para los días de muestreo se ha obtenido una concentración media de 25 µg PM_{2,5}/m³ y 38 µg PM₁₀/m³. Estos niveles son similares a los obtenidos con el monitor GRIMM (24 µg PM_{2,5}/m³ y 37 µg PM₁₀/m³ respectivamente), por lo que se puede considerar que el muestreo de filtros con equipos captadores de alto volumen es representativo del periodo de estudio.

- La concentración media de SO₄²⁻ obtenida entre Junio a Diciembre de 2003 (5,7 µg/m³) es superior a las obtenidas en 2001 y 2002 (4,7-4,1 µg/m³), encontrándose distribuida principalmente en la fracción fina (inferior a PM_{2,5}).

- La relación media de Cl/Na en PM₁₀ es 1,19, superior a la obtenida en PM_{2,5} (0,46), también para el periodo de Junio a Diciembre de 2003. El ratio medio Cl/Na obtenido indica un origen mayoritariamente marino de estas especies, aunque la identificación de valores esporádicos elevados del ratio Cl/Na indican una cierta influencia de emisiones antropogénicas de Cl.

- Se han obtenido valores relativamente elevados de PO_4^{3-} en PM_{10} (0,34 y 1,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como valores medio y máximo en PM_{10} , respectivamente) derivada de las actividades industriales del Polígono de la Punta del Sebo. Estos valores son ligeramente inferiores a los obtenidos previamente en 2001 (0,5 y 3,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y similares a los de 2002 (0,3 y 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y están en el rango de los obtenidos en zonas próximas a plantas industriales de producción de fosfatos, pero son un orden de magnitud superiores a los encontrados en otras áreas industriales y urbanas de España.

- La concentración media y máxima de As en PM_{10} ha sido 3,48 y 31 ng/m^3 , respectivamente, para el periodo Junio de 2003 a Mayo de 2004. Casi un 70% de As se encuentra en la fracción inferior de $\text{PM}_{2,5}$. Estos valores son inferiores a los obtenidos en PST para el año 2000 (9 ng/m^3 , IIº Informe CSIC) y a los obtenidos en PM_{10} en 2001 (5,4 y 55 ng/m^3) y en 2002 (4,8 y 51 ng/m^3). Se observa una disminución progresiva de los niveles medios diarios de concentración de As, pero todavía se identifican picos de concentración esporádicos con valores elevados. Tal como se comentó en el 7º informe, aunque la concentración media de As obtenida es superior a las obtenidas en otras zonas industriales de España (entre 3 y 7 veces mayor), ésta es inferior al valor propuesto por la UE como valor medio recomendado (6 $\text{ng As}/\text{m}^3$ en PM_{10} , European Commission, 2002).

- Se ha observado un descenso relativo de los valores de Cu con valores medios de 26 ng/m^3 respecto a los años anteriores (70 y 108 ng/m^3).

- Los niveles obtenidos de Pb, Ni y Cd en PM_{10} (13, 6 y 0,3, y 70, 30 y 1,7 ng/m^3 como valores medios y máximos, respectivamente) son claramente inferiores a los valores límite de Pb en PM_{10} (500 $\text{ng Pb}/\text{m}^3$, 1999/30/CE) y a los valores guía propuestos por la UE de 20 $\text{ng Ni}/\text{m}^3$ y 5 $\text{ng Cd}/\text{m}^3$ en PM_{10} .

Tabla 2: Niveles diarios medios, mínimos y máximos de PM10, PM2,5 y concentraciones de componentes mayores y traza en PM10 y PM2,5 obtenidos en la estación de Campus El Carmen (Huelva) durante junio de 2003 a mayo de 2004. (*) Sólo se dispone de las concentraciones de aniones hasta diciembre de 2003.

29 de Mayo de 2003 al 31 de Mayo 2004 (*)						
nº filtros	PM10			PM2,5		
	44			43		
Concentración (µg/m ³)	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo
	38.0	81.0	17.1	25.2	50.1	5.5
µg/m ³						
CO ₃ ⁼	2.55	7.06	0.53	0.93	3.67	0.31
SiO ₂	4.99	7.06	0.53	1.39	6.62	0.09
Al ₂ O ₃	1.66	4.58	0.14	0.46	2.21	0.03
Ca	1.27	3.78	0.31	0.53	2.03	0.21
K	0.58	1.34	0.12	0.27	0.54	0.15
Na	0.81	1.95	0.21	0.39	0.84	0.20
Mg	0.26	0.55	0.01	0.05	0.25	0.00
Fe	0.71	1.85	0.14	0.28	0.88	0.12
PO ₄ ³⁻	0.34	1.10	0.03	0.12	0.53	0.03
SO ₄ ²⁻	5.61	19.48	0.89	5.45	17.27	1.38
F-	0.03	0.14	0.00	0.01	0.05	0.00
SO ₄ ²⁻ antrop.	5.46	19.24	0.83	5.35	17.16	1.30
SO ₄ ²⁻ marino	0.19	0.44	0.06	0.10	0.21	0.05
NO ₃ ⁻	2.34	4.61	0.36	0.70	2.52	0.22
Cl	0.96	3.74	0.01	0.18	1.47	<0.01
ng/m ³						
Li	0.47	1.57	<0.01	0.08	0.66	<0.01
Be	0.00	0.03	<0.01	0.00	0.01	<0.01
Ti	58.98	171.25	6.99	19.50	58.74	3.85
Sc	0.13	0.66	<0.01	0.03	0.20	<0.01
V	5.70	18.97	0.13	4.03	17.21	0.12
Cr	1.22	4.48	<0.01	0.66	3.61	<0.01
Mn	12.43	35.12	3.10	5.44	13.70	2.73
Co	0.23	1.32	<0.01	0.07	0.70	<0.01
Ni	5.93	30.03	<0.01	3.81	15.69	<0.01
Cu	26.45	107.79	<0.01	13.36	44.69	<0.01
Zn	48.71	120.82	<0.01	63.04	156.43	<0.01
Ga	0.84	2.96	<0.01	1.53	6.02	<0.01
Ge	0.04	0.30	<0.01	0.02	0.29	<0.01
As	3.48	30.61	<0.01	2.36	26.54	0.04
Se	1.06	6.74	<0.01	0.63	4.90	<0.01
Rb	1.18	3.47	0.01	0.37	1.82	0.03
Sr	3.23	8.25	<0.01	1.12	6.93	<0.01
Y	0.27	0.94	<0.01	0.13	0.79	<0.01

Zr	2.86	24.49	<0.01	2.40	23.55	<0.01
Nb	0.19	2.14	<0.01	0.07	1.35	<0.01
Mo	0.50	3.51	<0.01	0.48	6.09	<0.01
Cd	0.29	1.69	<0.01	0.22	1.51	<0.01
Cs	0.03	0.16	<0.01	<0.01	0.05	<0.01
Ba	19.56	64.23	<0.01	34.35	106.37	<0.01
La	0.44	1.45	<0.01	0.14	0.57	<0.01
Ce	0.77	2.37	<0.01	0.23	1.05	<0.01
Pr	0.08	0.30	<0.01	0.02	0.14	<0.01
Nd	0.30	1.04	<0.01	0.07	0.43	<0.01
Sm	0.04	0.18	<0.01	0.00	0.07	<0.01
Eu	0.01	0.04	<0.01	0.00	0.02	<0.01
Gd	0.05	0.15	<0.01	0.01	0.07	<0.01
Dy	0.04	0.13	<0.01	0.01	0.08	<0.01
Er	0.02	0.08	<0.01	<0.01	0.03	<0.01
Yb	0.01	0.07	<0.01	0.00	0.02	<0.01
Ta	0.01	0.16	<0.01	0.14	1.90	<0.01
W	0.00	0.05	<0.01	<0.01	0.00	<0.01
Tl	0.04	0.30	<0.01	0.02	0.23	<0.01
Pb	12.97	69.80	0.17	10.65	67.53	0.36
Bi	0.40	3.07	<0.01	0.27	2.87	<0.01
Th	0.13	0.38	<0.01	0.05	0.28	<0.01
U	0.09	0.42	<0.01	0.05	0.20	<0.01

Tal como se ha indicado en anteriores informes, debido a la existencia de eventos de contaminación episódicos que incrementan puntualmente los niveles de determinados contaminantes, las concentraciones de la mayoría de los componentes de PM10 no muestran un claro patrón de evolución estacional. En la Figura 15 se presenta la evolución estacional de algunos elementos traza representativos en PM10 para el periodo de estudio.

- Las concentraciones de elementos mayoritariamente de origen crustal como Al, Ca, Fe, Mg, K, Si y Sr tienden a incrementar en verano debido al aumento de los aportes naturales en este periodo. Además, se han identificado picos esporádicos de las concentraciones de estos elementos que están claramente correlacionados con episodios de intrusión de masas de aire de origen sahariano tal como se ha detectado mediante el análisis de retro-trayectorias y la observación de imágenes satélite SeaWiFS, mapas TOMS del índice de aerosoles y las simulaciones SKIRON.

- Los niveles de Cl y Na se caracterizan por máximos esporádicos simultáneos debido a la alta influencia de las emisiones marinas en esta área costera. Además, ocasionalmente se han identificado aportes antropogénicos de Cl, tal como se deduce del exceso de Cl respecto al ratio marino Cl/Na.

- Como se ha mencionado previamente, las series temporales de algunos contaminantes de origen local tales como As, Cd, Co, Cu, Ni, P, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, Tl, V y Zn se caracterizan por máximos esporádicos asociados con episodios de contaminación específicos (ver Figura 15 para V y Ni). Otros elementos como Cu, As y Pb (Figura 15) muestran una evolución temporal paralela debido a su origen común o al

hecho de que son emitidas por plantas industriales próximas. Tal como se observa en la Figura 15, a pesar de la ya comentada disminución de las concentraciones medias de As en 2003 respecto a 2001 y 2002, todavía se observan picos elevados de concentraciones media diarias de As (entre 20 y 30 ng/m^3) en 2002.

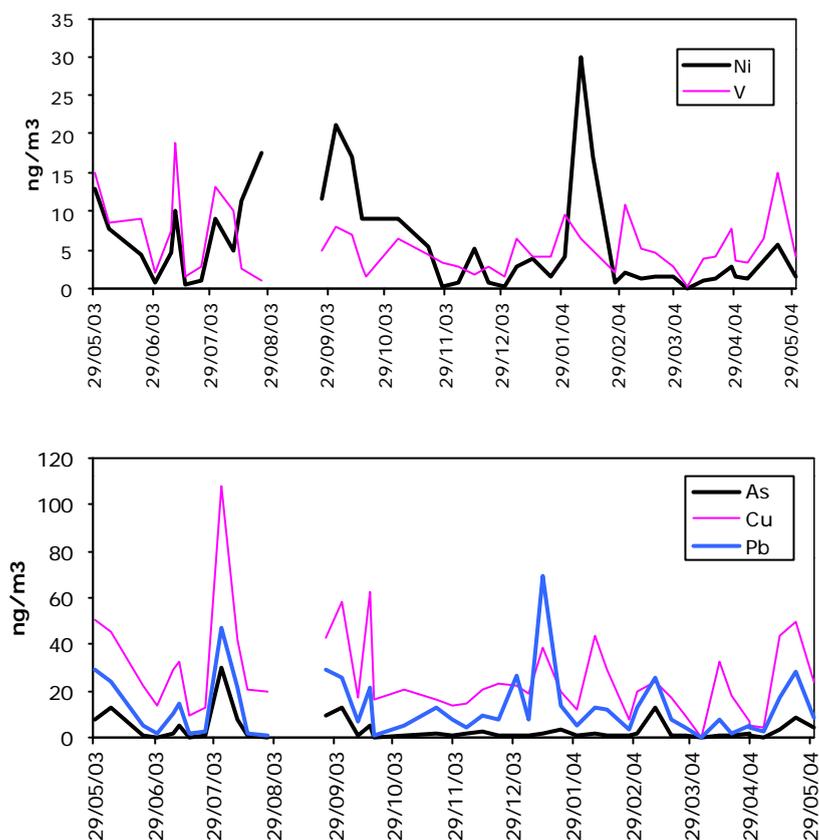


Figura 15: Evolución temporal de las concentraciones de algunos elementos traza de PM10 entre el junio de 2003 y Mayo de 2004 en la estación Campus El Carmen.

2. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL IMPACTO FOTOQUÍMICO

2.1. ESCENARIOS METEOROLÓGICOS

Se presenta la estadística más completa posible de la información meteorológica disponible en el entorno de la Ría de Huelva, y que corresponde a las medidas meteorológicas realizadas rutinariamente en los emplazamientos de Puerto Nuevo, Punta del Sebo, Polígono Tartesos, Niebla y Moguer. El estudio de las distribuciones de frecuencias, recogidas en las rosas de vientos adjuntadas, junto con las series temporales, ratifican básicamente las descripción de la dinámica atmosférica.

El patrón es muy similar en todos los emplazamientos analizados, que se sitúan relativamente próximos entre sí. (Sóamente el patrón de Niebla muestra un cierto sesgo respecto a las restantes, que muestra un efecto de apantallamiento de los sensores en la ubicación actual).

La rosa de vientos muestra tres direcciones bien definidas (Figura 16):

- una dirección NE-ENE, correspondiente a derrames por la cuenca del Tinto, bastante bien definidos como corresponde a este tipo de circulaciones estables nocturnas;
- una dirección NW-NNW, correspondiente igualmente a derrames nocturnos por la cuenca del Odiel, sobre los que se superponen vientos de carácter sinóptico;
- una dirección entre SSW y W, sobre un rango más amplio y con velocidades más elevadas, que corresponde al régimen diurno de los ciclos de brisa, sobre el que se superponen también las condiciones sinópticas del Atlántico que penetran a lo largo de la cuenca del Guadalquivir.

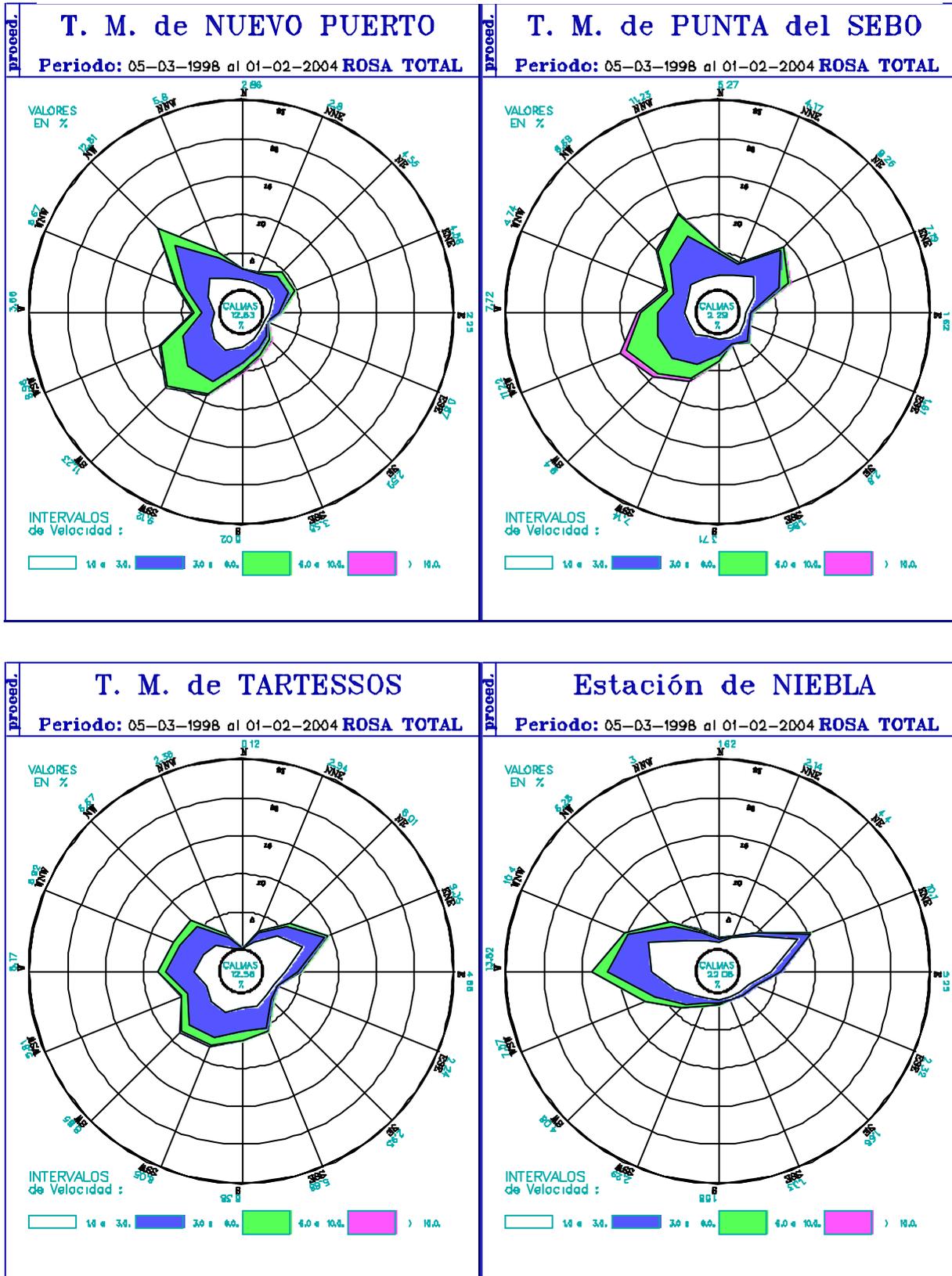
Las direcciones en torno al primer y cuarto cuadrante que aparecían en la rosa de viento corresponden principalmente a flujos nocturnos. El derrame a lo largo de la cuenca del Odiel (~NW) se produce a primeras horas de la noche, correspondiendo al desarrollo de este tipo de flujos sobre la vertiente meridional de la sierra de Huelva, canalizados a lo largo de la cuenca del río, los que primero alcanzan la margen costera.

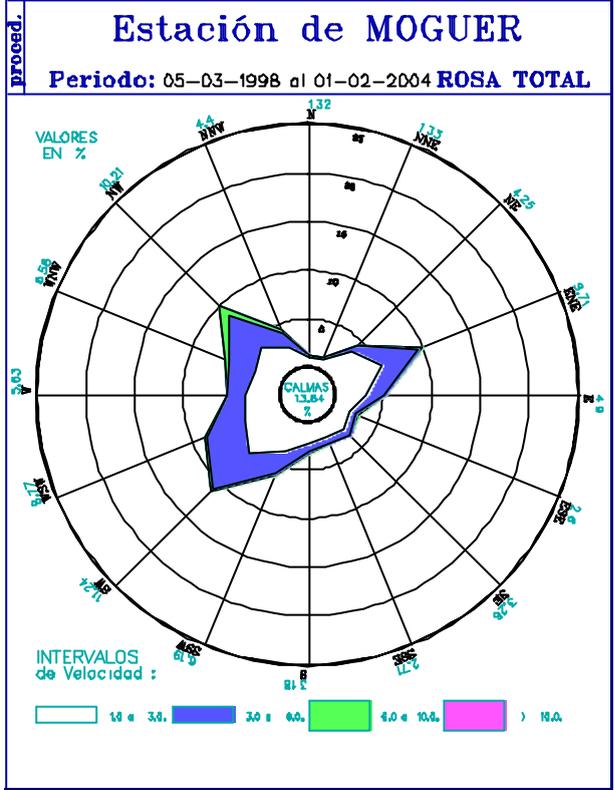
Posteriormente se acopla la circulación procedente de la cuenca del Guadalquivir, más importante y por lo tanto de un mayor desarrollo, que desplaza a la anterior a lo largo del periodo nocturno. Las velocidades medias son más elevadas en el caso de las direcciones del cuarto cuadrante, efecto debido a que se superponen también aquí a las circulaciones locales condiciones advectivas de carácter sinóptico del Atlántico.

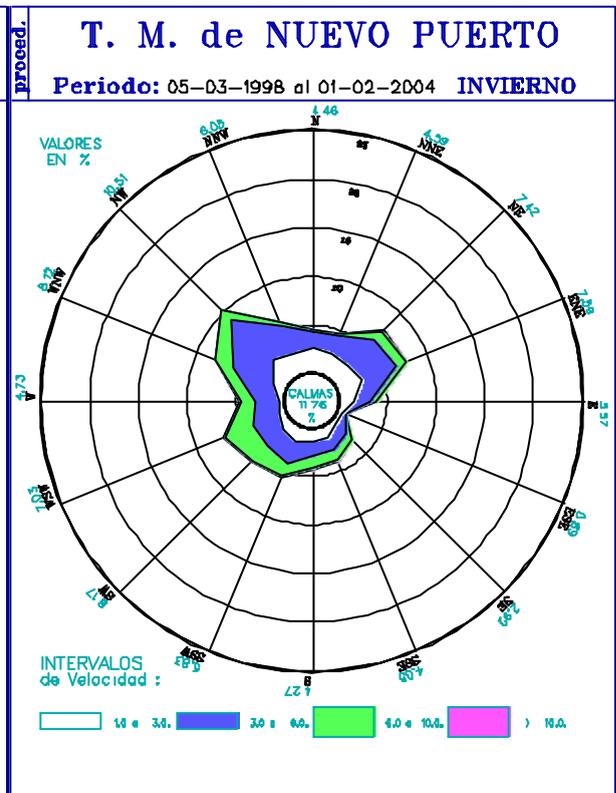
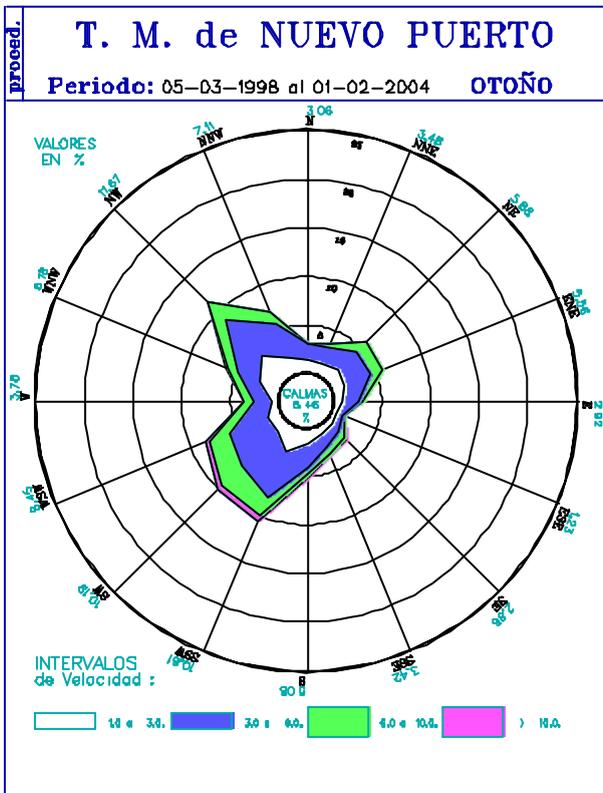
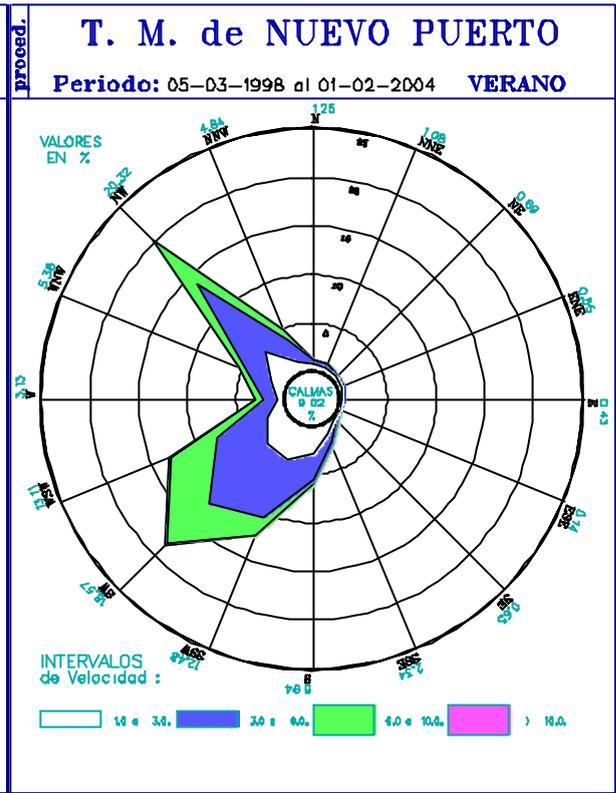
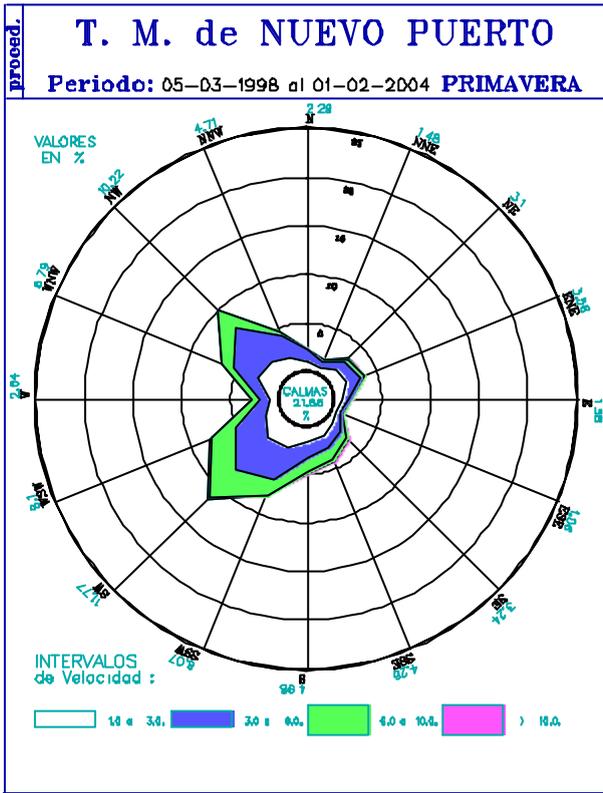
Durante el día predomina un régimen del tercer cuadrante, que corresponde con la entrada de la brisa marina. Puede observarse en la distribución horaria que la dirección en general rola hacia la derecha. Ello significa que inicialmente la brisa (siempre en términos promedio) entra perpendicularmente a la costa (~S) y se va acoplando progresivamente con el eje del valle del Guadalquivir (~SW) a medida que la célula costera va adquiriendo un mayor desarrollo a lo largo de la cuenca. Paralelamente la intensidad del viento va aumentando.

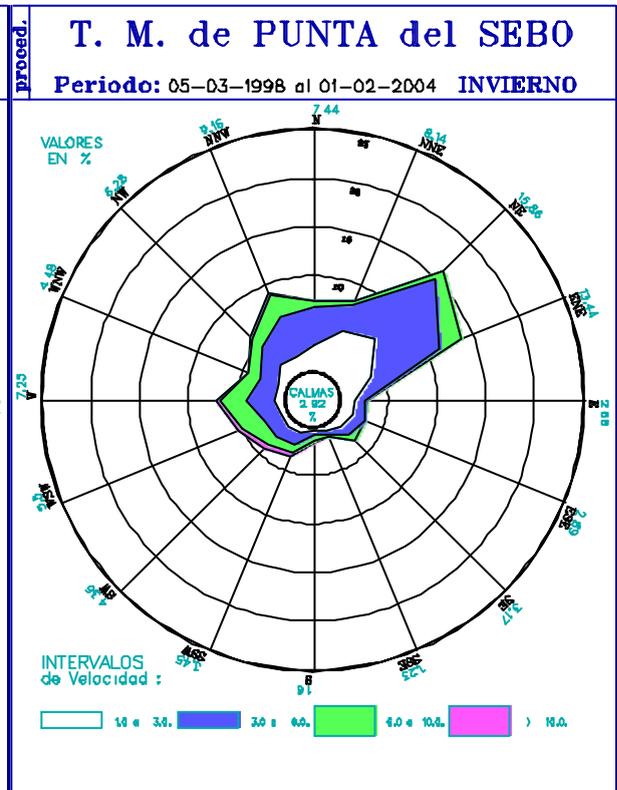
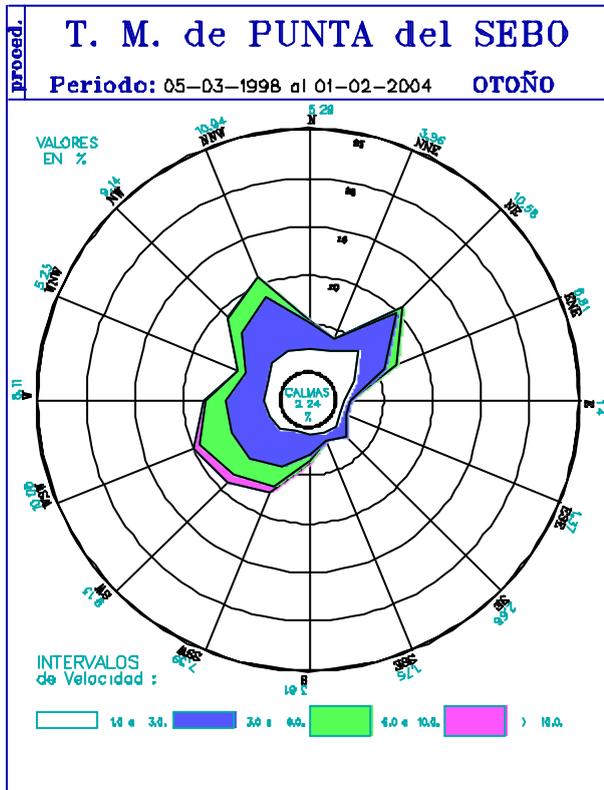
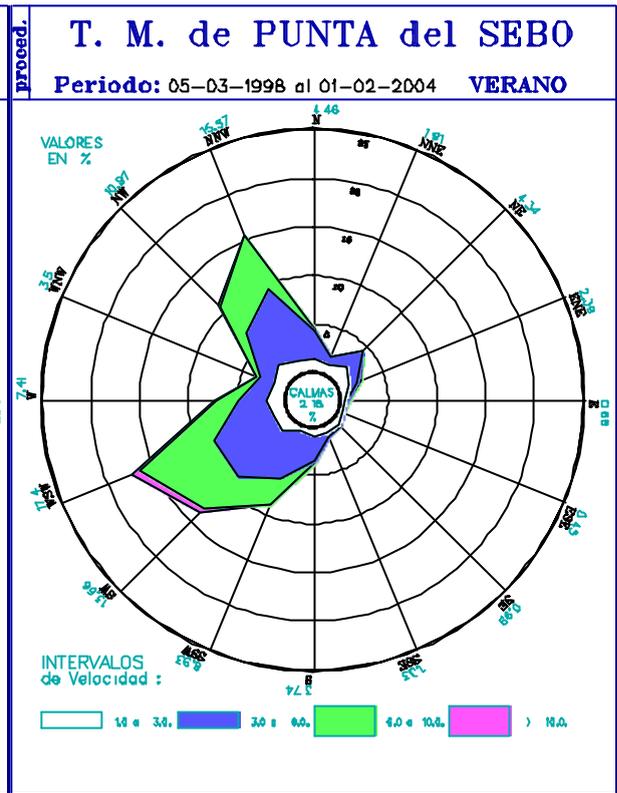
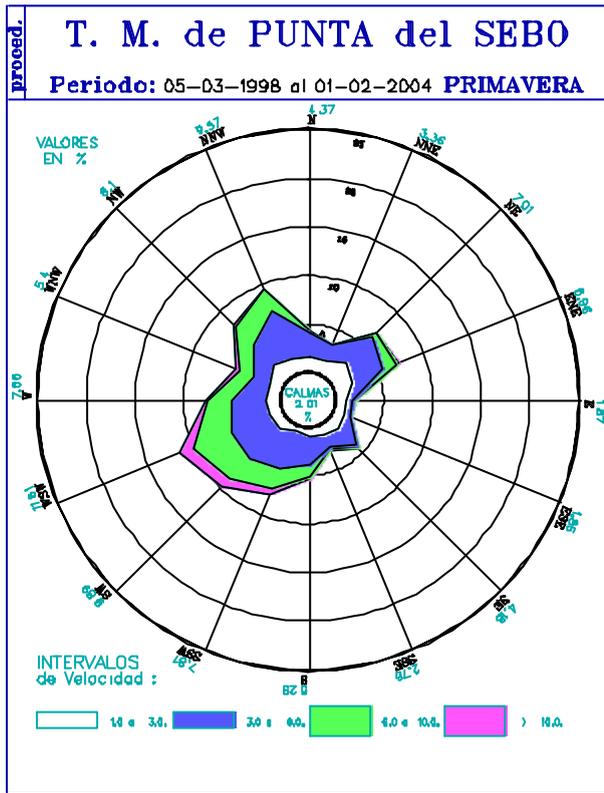
El análisis de la variación estacional de las anteriores distribuciones confirma básicamente el esquema que se describe, reforzándose las circulaciones locales de tipo brisa durante el periodo estival, como cabría esperar.

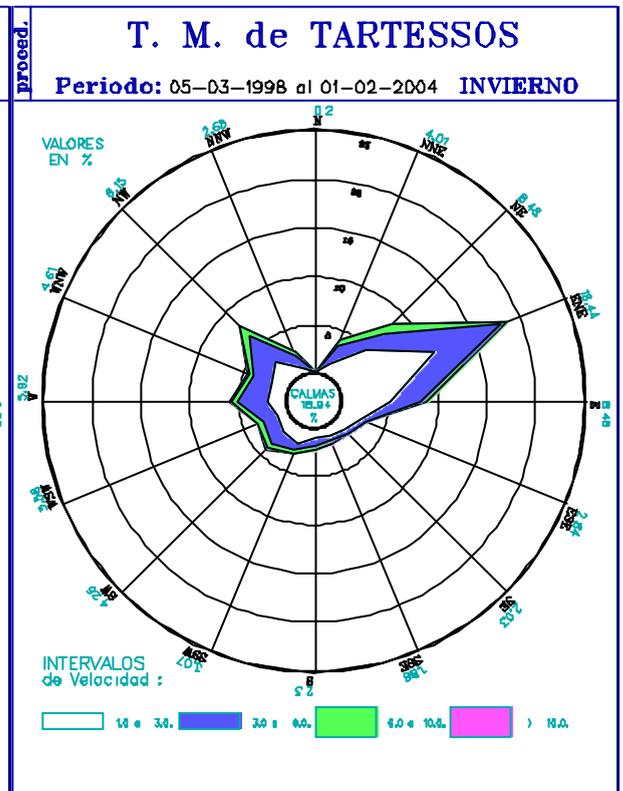
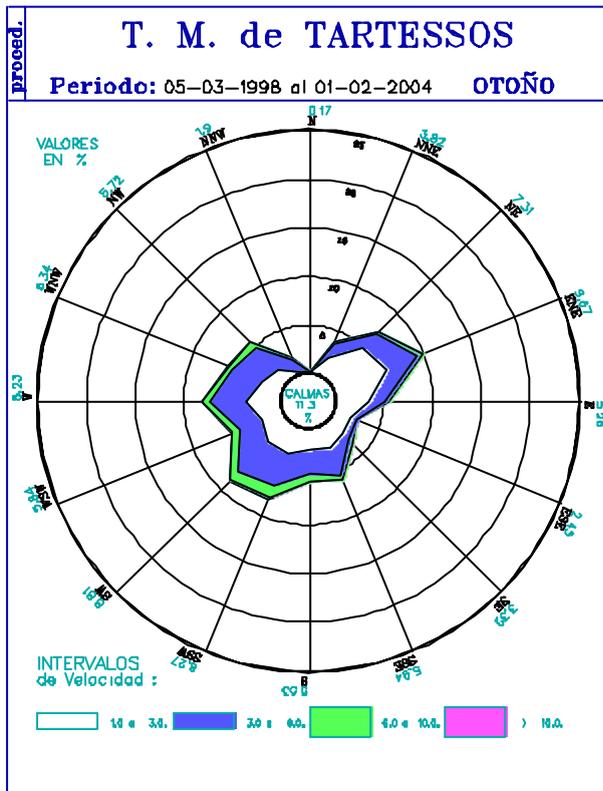
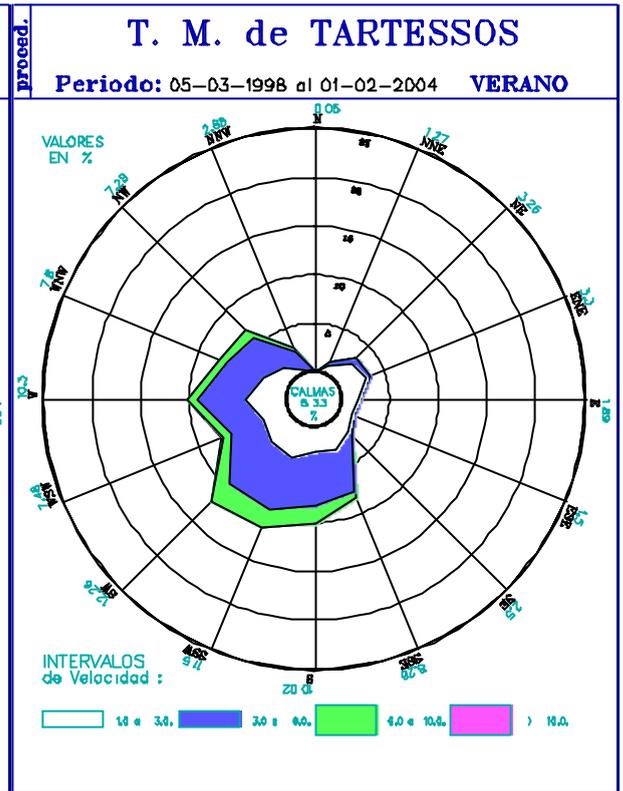
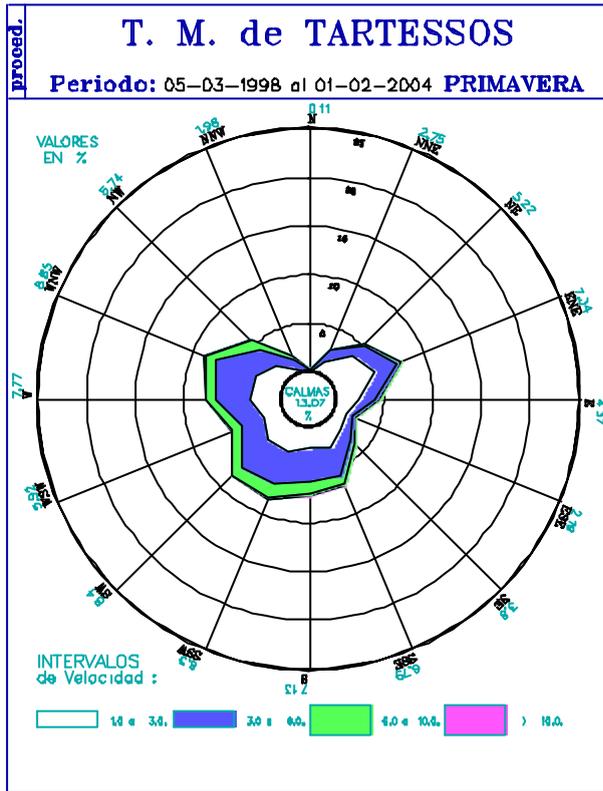
Figura 16: Rosa de los vientos en distintas estaciones a lo largo del año.

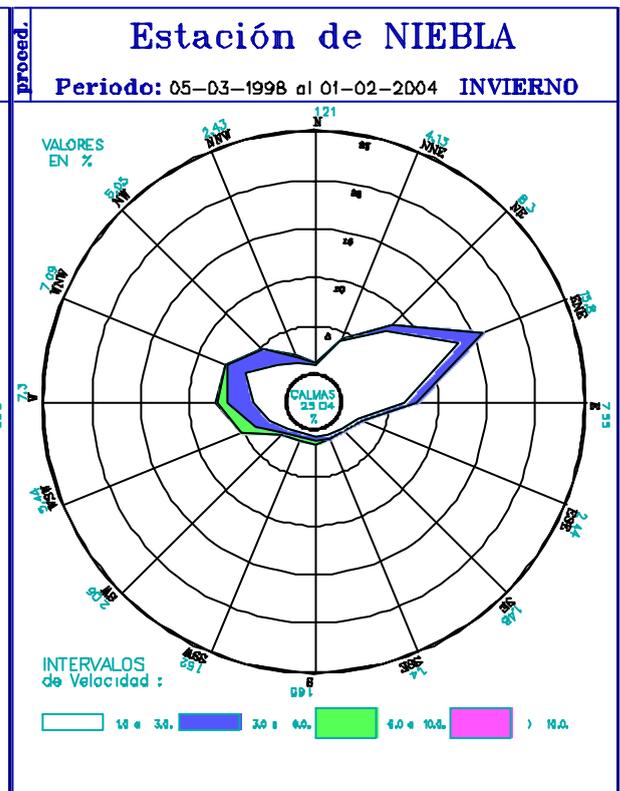
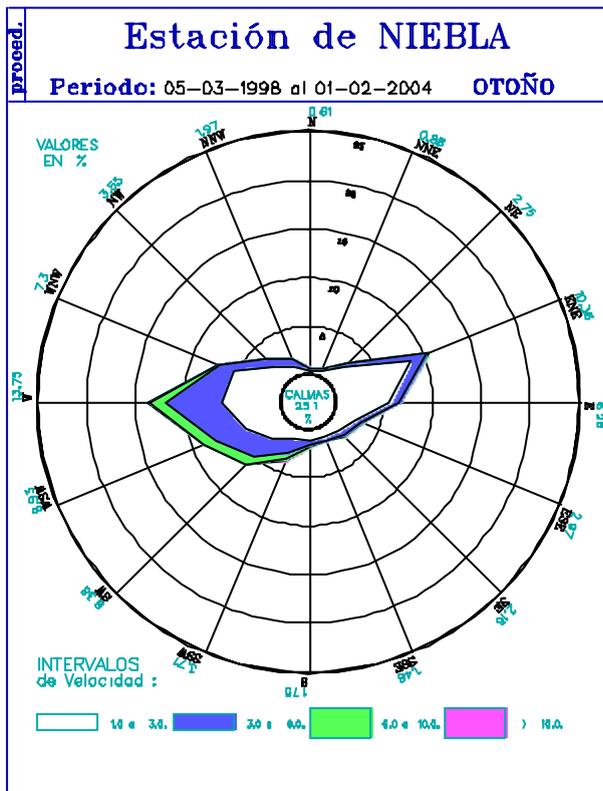
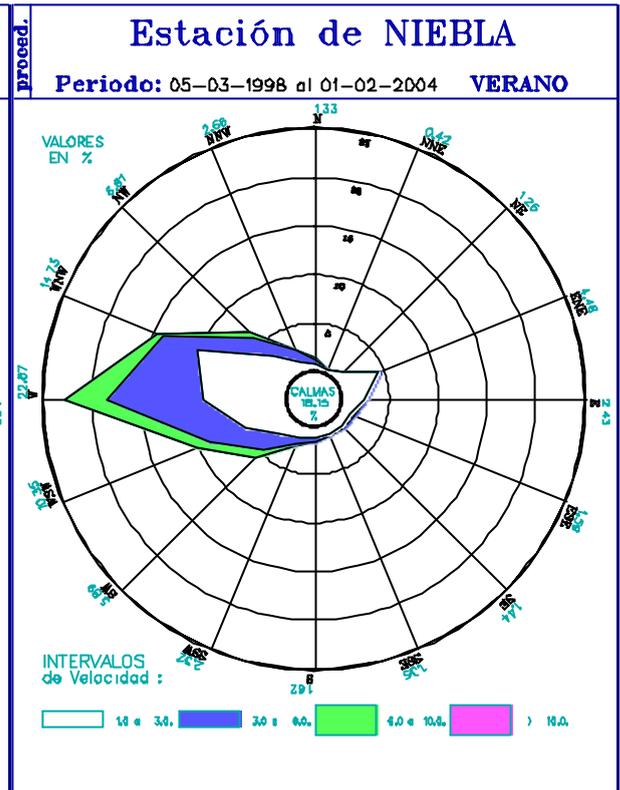
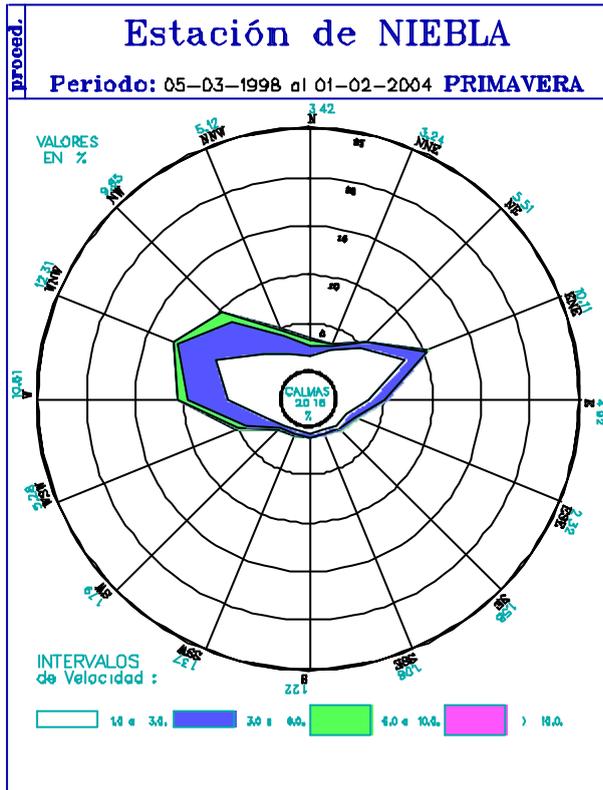


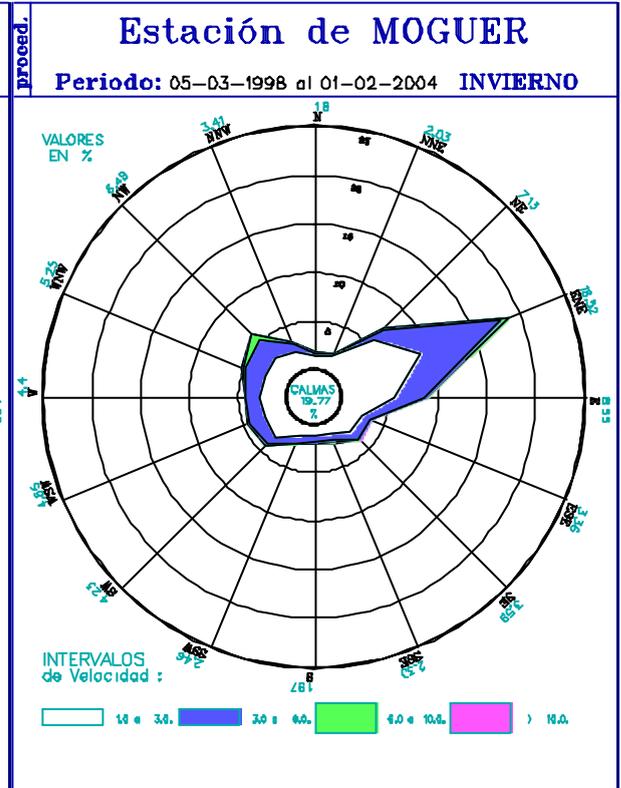
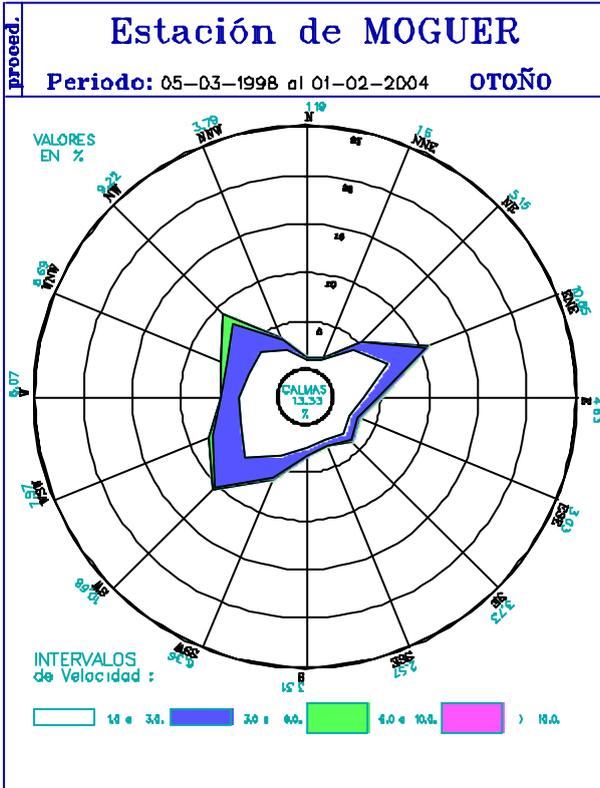
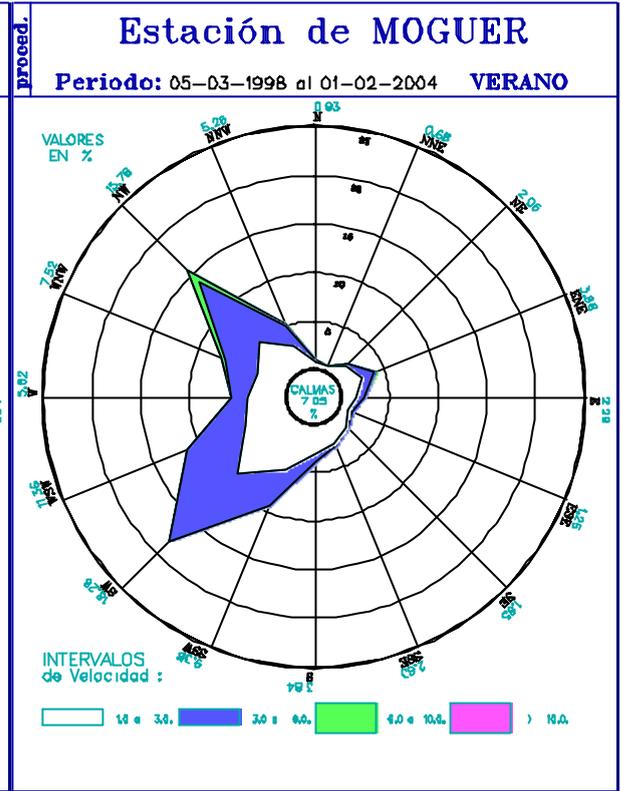
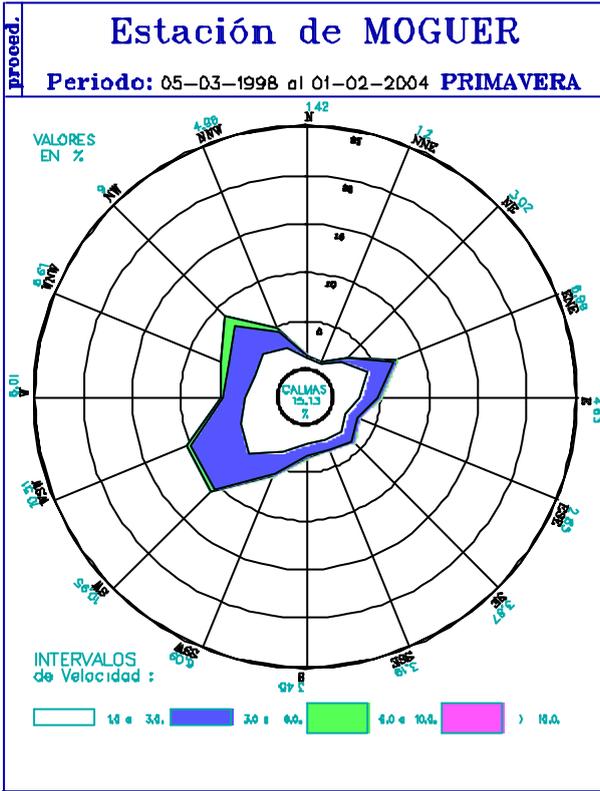












2.1.1. Patrones de Circulación

Se presenta la identificación de patrones meteorológicos para la zona de estudio. Es el objetivo del presente apartado fijar algunos conceptos y la metodología de trabajo en práctica, más que dar una visión finalista de los escenarios.

Puesto que el interés principal del análisis meteorológico es el de la caracterización de la dispersión (transporte y difusión) de las especies químicas durante el proceso de transformación fotoquímica desde los puntos de emisión, es la circulación del viento, a partir del análisis de las medidas procedentes de las torres meteorológicas en torno al emplazamiento de estudio el principal factor responsable del impacto. Así pues, es el viento el primer elemento de discriminación de las medidas. Consideraremos que un patrón meteorológico, en el ámbito del presente estudio, vendrá representado por unas determinadas condiciones meteorológicas o una sucesión temporal de las mismas, con alta frecuencia de ocurrencia en el emplazamiento en cuestión o bien que resulten de interés por su relevancia desde la perspectiva del impacto fotoquímico, y que darían lugar, dentro de ciertos márgenes, y para unas mismas condiciones de emisión, a impactos similares dentro de su entorno geográfico de influencia.

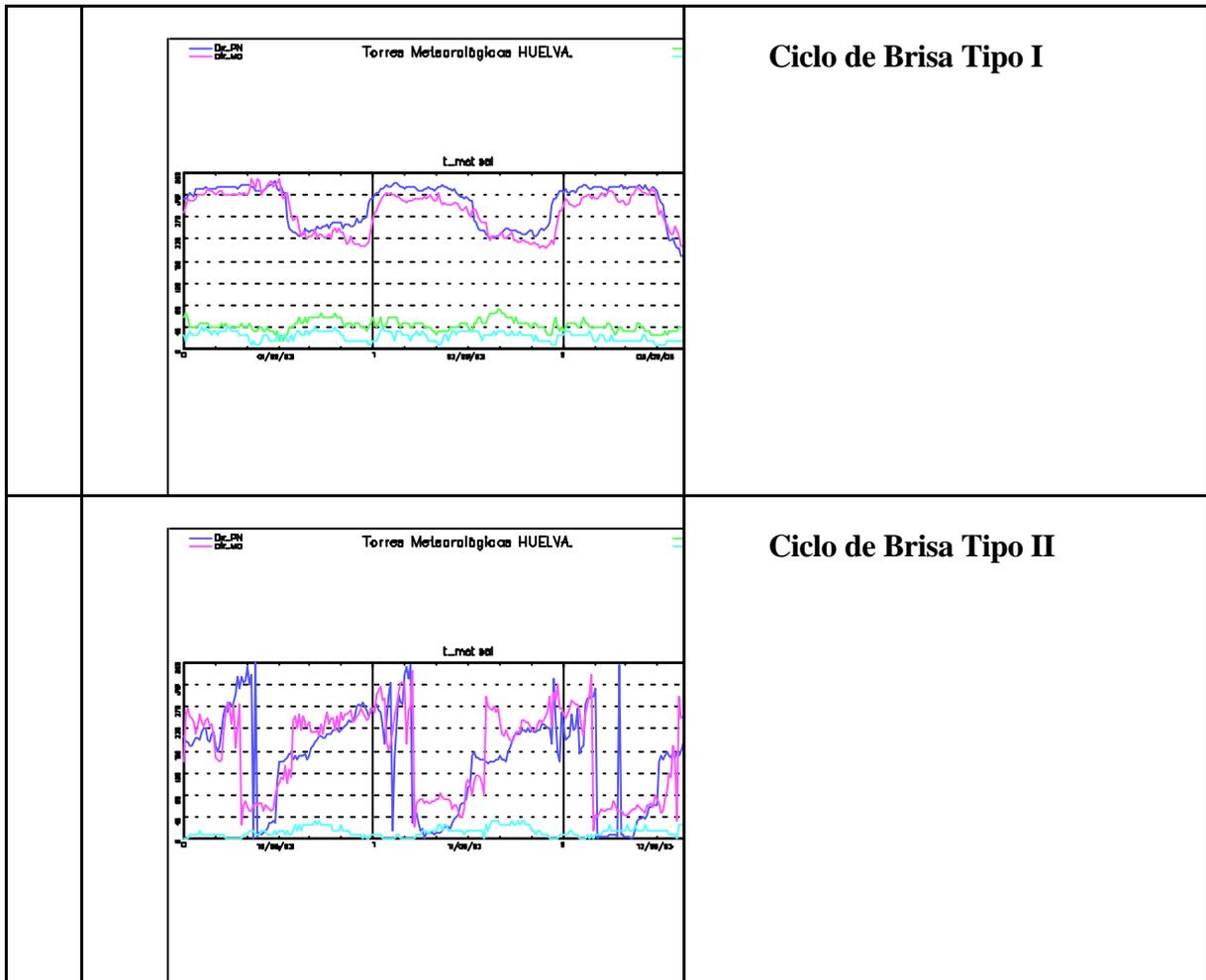
Dada la gran influencia de los procesos mesoescalares, con una clara periodicidad diurna, se tomará dicho intervalo temporal como base para la elaboración de la tipología. Ello no significa que no se consideren como modos posibles intervalos temporales de diferente duración (como por ejemplo periodos transitorios de estancamiento atmosférico, condiciones de fuerte fumigación, etc.). Como primera gran división, se pueden contemplar dos tipos de situaciones meteorológicas: aquellas en que predominan las condiciones advectivas y en las que dominan las condiciones difusivas, por corresponder a situaciones de vientos en calma. Las primeras se ajustan mejor a los patrones diarios mencionados, mientras que en la zona costera de estudio las situaciones de vientos nulos son más raras, estando ligadas generalmente a periodos transitorios. En esta primera aproximación se centrarán los trabajos en el primero de los tipos.

La búsqueda e identificación de los patrones dentro del presente contexto se plantea como un trabajo manual, a partir de la experiencia del conocimiento de los emplazamientos y del manejo continuado de las medidas meteorológicas. No se utilizan en la presente fase métodos numéricos, recurriendo, por el contrario, a un esfuerzo de síntesis a partir de la propia experiencia. En los primeros estadíos se pretende describir cualitativamente una colección de situaciones tipo, asignándoles un día como ejemplo característico. Esta colección inicial de modelos se irá refinando en sucesivas iteraciones, de manera que las cajas inicialmente grandes se vayan matizando y resolviendo en conjuntos progresivamente mejor definidos. El conjunto presentado en el apartado actual no representa un conjunto depurado. A partir de la existencia de una primera agrupación consistente, se irán asignando los diferentes días de medida disponibles a alguno de los grupos, de manera que se pueda asignar la mayor parte de los días a alguno de los patrones identificados. Esta metodología permitirá elaborar una cierta estadística a partir de los individuos englobados dentro de un mismo escenario, proporcionando valores medios de los diferentes parámetros, así como porcentajes de ocurrencia, frecuencia estacional, etc. Partiendo de este estadío, se valorará la posibilidad de utilizar alguna técnica de agrupamiento que facilite la explotación de todo el banco de datos disponible.

La finalidad de la obtención de una clasificación de situaciones meteorológicas dentro del contexto del presente proyecto es doble: proporcionar un conocimiento cualitativo y cuantitativo sobre la dinámica en el emplazamiento y proporcionar una base para la simulación numérica de los escenarios.

En lo que sigue se muestra simplemente una enumeración de los primeros grupos identificados, encontrándose actualmente los trabajos en la fase de asignación de los días disponibles a cada patrón, refinando la clasificación tal y como se ha comentado anteriormente. No se han incluido en este punto comentarios ni consideraciones explicativas sobre las principales características meteorológicas que compendian las diferentes categorías por tratarse de una fase en proceso aún de depuración. Como ejemplo de cada tipo se ha seleccionado un día (a fin de que no se quede en un mero nombre y tenga una representación concreta), mostrándose en la Figura 17 en el centro de la serie de tres días consecutivos en que se presenta para mejor contextualización. En esta clasificación se ha atendido principalmente a la velocidad y la dirección como principales magnitudes discriminatorias de las condiciones de circulación en la cuenca.

Figura 17: Características meteorológicas puntuales.



		<p>Ciclo de Brisa Tipo III</p>
		<p>Advección Atlántica.</p>
		<p>Advección Mediterránea.</p>

2.1.2. Elección de los Escenarios Meteorológicos

Para los presentes trabajos de simulación se trabaja sobre dos escenarios meteorológicos diferentes. Se ha optado por comenzar por uno pasado, extraído del análisis del banco de datos disponibles. El segundo se realizará sobre un episodio de interés del año 2004, procurando beneficiarse de una mejor cobertura de medidas experimentales en la cuenca.

Se detalla a continuación las peculiaridades del periodo pasado considerado de interés para su modelización. El intervalo considerado comprende el periodo del 11 al 15 de Agosto de 2003. Durante dicho periodo se registran valores elevados de concentración de ozono en diferentes puntos de la cuenca, superándose los umbrales de protección a la salud y de información a la población en alguna ocasión. En la Figura 18 se muestran los registros en tres puntos de medida de la zona.

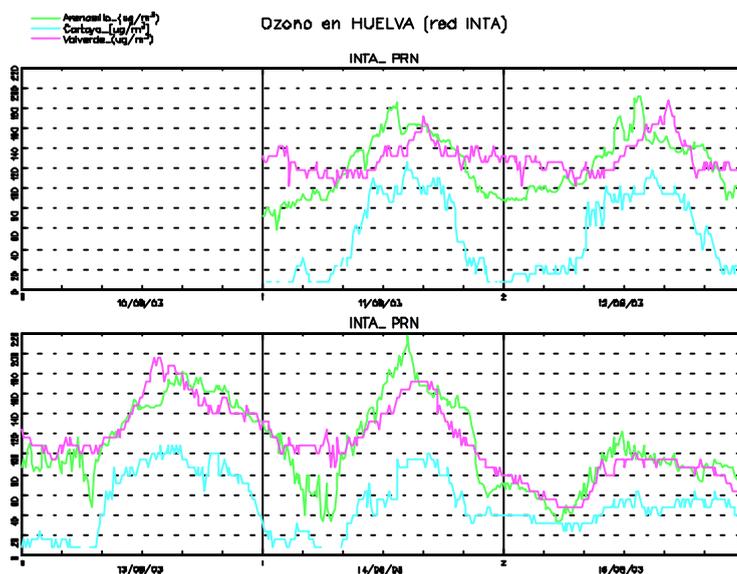


Figura 18: Niveles de ozono en el periodo del 11 al 15 de agosto de 2003 (por cortesía de la Estación del Arenosillo, INTA, con el agradecimiento a José Antonio Adame)

Los registros meteorológicos muestran un ciclo de brisa bien definida al comienzo del periodo, perteneciente a uno de los patrones identificados, en los que el derrame nocturno a lo largo de la cuenca del Odiel es embebido por la circulación nocturna procedente del Guadalquivir (a través de la cuenca del Tinto). Durante las primeras horas del día la brisa costera entra de componente sur, respondiendo al mayor calentamiento de las cadenas montañosas de la sierra de Huelva, girando progresivamente al tercer cuadrante a medida que se organiza también la circulación a lo largo del Guadalquivir. En la Figura 19 se muestran los registros de viento superpuestos de las diferentes torres disponibles en el entorno.

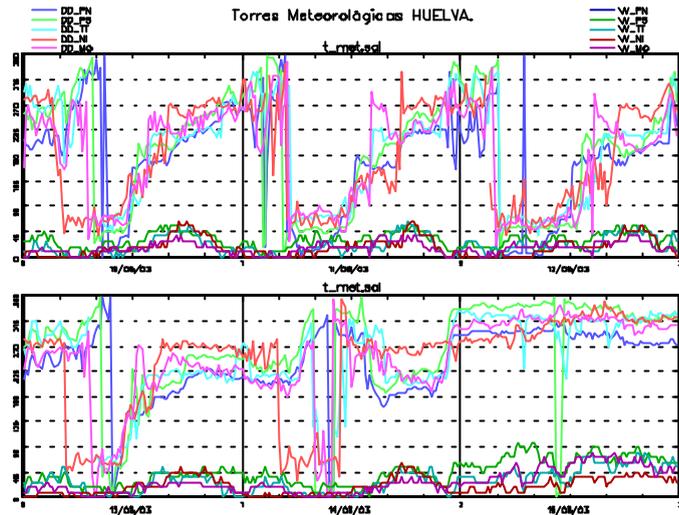


Figura 19: Registro de vientos superpuestos en el periodo del 11 al 15 de agosto de 2003.

El anterior patrón se mantiene acoplado mientras persisten las condiciones de fuerte estabilidad atmosférica. La irrupción progresiva de una perturbación por el noroeste peninsular rompe progresivamente este comportamiento durante el día 14, en el que aún se registra el ciclo de brisa, para desaparecer definitivamente a partir del día 15, en que la entrada de una situación del noroeste trae consigo una eficaz limpieza de la baja atmósfera.

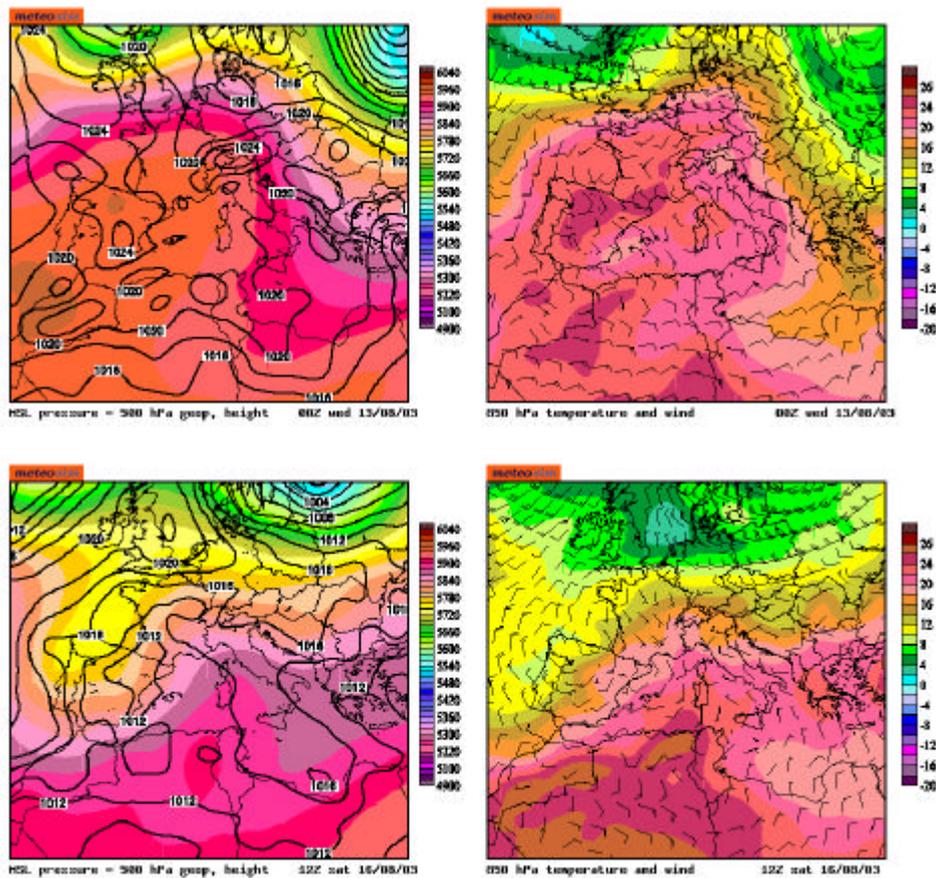


Figura 20: Mapas del tiempo para los días 13 y 16 de agosto de 2003.

Si se observan los mapas del tiempo (Figura 20) para estos días puede apreciarse la poderosa dorsal en altura que preside durante los primeros días el panorama meteorológico, con una predominio de altas presiones y estabilidad atmosférica, y flujo de levante en las zona del Estrecho. Con la irrupción de la vaguada polar el último día se rompe esta fuerte estabilidad, que determina un fuerte confinamiento de las circulaciones superficiales, con una importante disminución de la ventilación vertical, tal y como se aprecia claramente en la secuencia de sondeos meteorológicos obtenidos en Gibraltar para esas fechas.

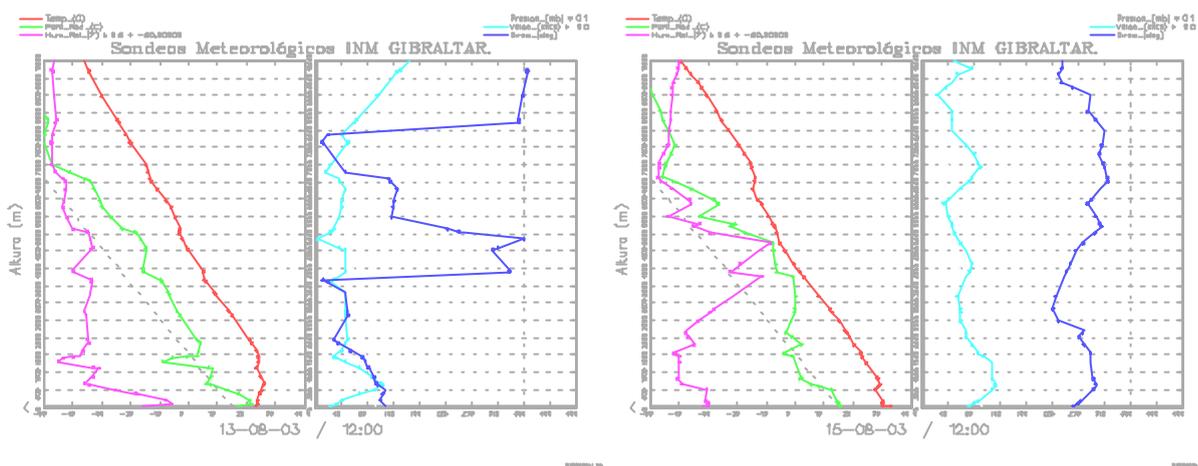


Figura 21: Mapas del tiempo.

En estas condiciones son favorables para el desarrollo de procesos recirculatorios de las masas de aire, bajo condiciones de flujos locales mesoescalares, que favorecen una menor renovación de las mismas con el consiguiente envejecimiento fotoquímico. Este escenario correspondería al patrón meteorológico seleccionado para su modelización.

2.1.3. Simulaciones Meteorológicas

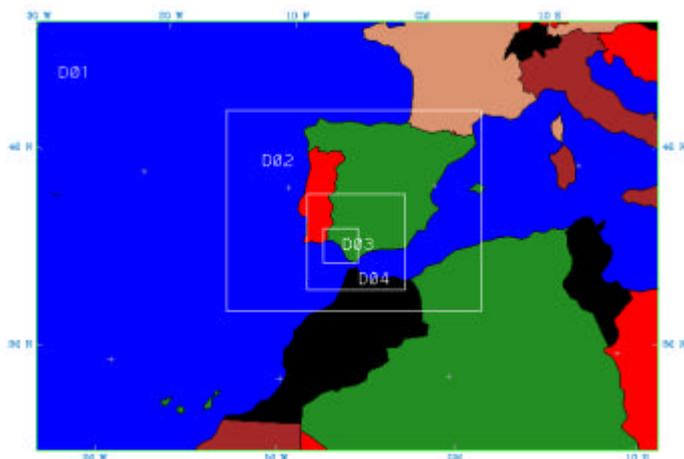
2.1.3.1. Selección del modelo

Para la modelización meteorológica de la situación meteorológica se ha seleccionado el modelo numérico meteorológico de *5th Generation Pennsylvania State University/NCAR Mesoscale Model (MM5 versión 3.4)*. Varias son las razones que nos han movido para la selección de este modelo, su gran versatilidad, su probada aplicación en una gran variedad de situaciones meteorológicas y geográficas, demostrando obtener mejores resultados frente a otros modelos, y su capacidad de incluir la interacción entre diversas escalas mediante el uso de malla anidadas. A todo esto hay que sumarle la posibilidad de utilizar los campos meteorológicos simulados como datos de entrada del modelo fotoquímico.

Conjuntamente con el estudio de la situación típica se está trabajando en la configuración del modelo. Al tratarse de un modelo *estado de arte*, dispone de numerosas parametrizaciones físicas, y permite la modificación de modelo y de las bases de datos que se necesitan para su inicialización (características de usos del suelo, temperatura del agua del mar, digitalización del terreno, etc...)

2.1.3.2. Definición del área/mallas

Actualmente se están definiendo las mallas y configuración del modelo que nos permitirá describir los procesos que tienen lugar en la cuenca de Huelva. En un principio el modelo se aplicará con una configuración de cuatro mallas anidadas que cubren varias escalas centradas en la zona de estudio (europea, peninsular, Golfo de Cadiz, y cuenca de Huelva) (Figura 22). La malla europea tiene 35 x 51 celdas con una resolución de 72 km, la malla que incluye la península Ibérica tiene 50 x 61 celdas con una resolución de 24 km, la malla que incluye la costa del golfo de Cadiz tiene 93 x 93 celdas con 6 km de tamaño del celda y por último la malla que esta centra en la cuenca de Huelva tiene 100 x 100 celda con un tamaño de 2 km. La proyección utilizada en las simulaciones que se realizarán es en coordenadas Lambert mientras que en la vertical utiliza 29 niveles en coordenadas sigma con mayor resolución en las capas cercanas al terreno y tiende a las superficies isobaras en altura llegando a 15 km. Esta primera tentativa de configuración de mallas se hace en función del episodio seleccionado y se modificará siempre y cuando sea necesario.



Malla	Nºceldas X	Nºceldas Y	Nº celdas Z	Dx (km)	Dy (km)	Dz (m) (más bajo)	Dt (s)
1	35	49	29	72	72	10	
2	50	61	29	24	24	10	
3	93	93	29	6	6	10	
4	100	100	29	2	2	10	

Figura 22: Definición de mallas.

2.1.3.3. Validación

Los datos del campo de viento, temperatura y humedad obtenidos con el modelo del episodio seleccionado se validarán cuantitativa y cualitativamente con los datos

observados en la zona de estudio tanto en superficie como en altura de las principales mallas (sinóptica y local). Cambiando si fuera necesario la configuración del modelo para acercarse a los observados en las medidas experimentales.

2.2. ESTIMACIÓN DEL IMPACTO FOTOQUÍMICO

2.2.1. Elección del Modelo Fotoquímico

La elección de un modelo fotoquímico para la simulación de un determinado proceso físico-químico debe considerar los siguientes puntos:

- demanda de tiempo y memoria de computación;
- disponibilidad de datos de entrada del modelo;
- implementación de la simulación.

Las simulaciones de contaminantes atmosféricos pueden clasificarse según su aplicación temporal (modelos de diagnóstico o de pronóstico), sistema espacial de referencia utilizado (esquemas eulerianos, lagrangianos o híbridos), número de dimensiones espaciales que se utilizan para construir la simulación (cero-dimensionales o de caja, unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales). La elección de un modelo fotoquímico, deberá basarse en las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de los tipos, con relación a la simulación que se vaya a realizar.

En la Tabla 3 se presenta una lista de modelos fotoquímicos, resaltando sus principales ventajas e inconvenientes.

Tomando en consideración las características propias de la región a modelizar (Ría de Huelva): rodeada por una variedad de industrias mixtas, número creciente de vehículos de transporte, y una marcada influencia orográfica en la difusión y transporte de la masa aérea, se ha escogido el modelo *Comprehensive Air Quality Model with Extensions* (CAMx) para la modelización fotoquímica. Se trata de un modelo tridimensional euleriano de transporte químico que incluye la descripción de la advección horizontal y vertical, difusión turbulenta, transformaciones químicas en fase gaseosa, emisiones, mezcla en las nubes, reacciones químicas en fase acuosa y procesos de formación de aerosoles.

Dicho modelo presenta un compromiso entre los gastos de potencia de cálculo y la maximización en la inclusión de fenómenos fundamentales para la descripción de la formación de ozono en la Ría de Huelva. También, entre sus ventajas se encuentra la capacidad de tomar datos procedentes de diversos modelos meteorológicos, como por ejemplo, MM5 y RAMS, lo cual ofrece una gran flexibilidad para su utilización dentro del contexto del proyecto.

Tabla 3: Comparación de modelos fotoquímicos.			
Tipo	Ejemplos	Ventajas	Desventajas
Gausiano Dispersión	Industrial Source Complex (ISCST-3)	Dinámica simple. Fácil de usar con contaminantes inertes. Fue establecido para la obtención de permisos de emisión.	No puede ser usado para modelar transporte de largo alcance. No permite el cálculo de la evolución fotoquímica del sistema.
Químicos de Caja	Ozone Isopleth Plotting Program (OZIP) (Gery y Crouse, 1991)	Puede incluir reacciones químicas muy detalladas. Simple para usar.	El tratamiento de la meteorología es muy simple. No es posible determinar la relación entre una fuente de emisión y un receptor.
Lagrangianos	CALMET/CALPUFF (Scire et al, 1999) Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT y HYSPLIT-CheM) (Draxler y Hess, 1997; Stein et al, 2000) HYPACT (Tremback et al, 1993) FLEXPART (Stohl et al, 1998) EMEP/MSC (Simpson, 1993) UK Photochemical model	Trayectorias aéreas con significado físico. Muy efectivos para relacionar emisiones con concentraciones en un punto receptor. Pueden incluir un tratamiento detallado de la química, emisiones, deposición y otros procesos. HYSPLIT-CheM (híbrido lagrangiano-euleriano) describe la interacción entre los penachos.	Se encuentran dificultades para simular las interacciones químicas entre diferentes parcelas de aire.
Eulerianos	Urban Airshed Model (UAM) (SAI,1995) Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx) (Environ, 2002) Multiscale Air Quality Simulation Platform (MAQSIP) (Odman and Ingram, 1996) Community Multiscale Air Quality model (CMAQ) (EPA, 1999) MM5-Chem (Grell et al, 2000) Weather Research and Forecasting Model with Chemistry (WRF-Chem) LOTOS (Buitjes et al 1991); EURAD (Hass, 1991); EMEP/MSC; REM3 (Hass et al 1997) STEM II (Mathur et al,1992)	Permiten el cálculo de la evolución química y la deposición en una forma más real. El mezclado y las interacciones químicas entre diferentes parcelas de aire son descriptos detalladamente. Pueden incluir un tratamiento detallado de la química, emisiones, deposición y otros procesos. Generalmente se requiere de modelos meteorológicos como entrada de datos. Sin embargo, modelos como el MM5-Chem y el WRF-Chem estiman las interacciones entre la química y la meteorología dentro de un solo cálculo.	La resolución espacial es limitada. Las trayectorias se calculan indirectamente. Presentan mayor dificultad para relacionar las emisiones de una fuente con las concentraciones en un receptor específico.

2.2.2. Elección de un Escenario Base.

El escenario base se trata del escenario a partir del cual se realizarán todas las hipótesis, y deberá reflejar de la mejor forma posible los principales rasgos característicos, tanto meteorológicos como químicos (emisiones). En dicho escenario base deberán apreciarse los procesos dispersivos, responsables del transporte de la masa aérea contaminada hacia zonas más o menos alejadas de los puntos de emisión; y la transformación química a la que dicha masa aérea se ve sometida durante el trayecto.

De esta forma, para la modelización del escenario base deberán tenerse en cuenta, *a grosso modo*, las siguientes consideraciones:

- resolución horizontal y vertical de la malla;
- emisiones, tanto de origen biogénico como antropogénico;
- usos de suelo;
- condiciones meteorológicas.

Resolución horizontal y vertical de la malla

La resolución de la malla o ventana de trabajo, deberá ser tal que refleje, con la mayor veracidad posible, los procesos físicos y químicos que se dan en la atmósfera, poniendo especial hincapié en el posible transporte de la masa aérea hacia zonas de interés (cultivos, población, etc.).

De esta forma, la elección de la resolución de la malla, deberá considerar el balance entre la demanda de tiempo y memoria de computación, y la simulación veraz de los procesos de transporte y formación fotoquímica.

Se escogerán dos mallas anidadas, una malla centrada en la zona de la Ría de Huelva, englobando los principales puntos de emisión y transporte, con una mayor resolución espacial; y una segunda malla, de mayor extensión y menor resolución, que tenga en consideración los fenómenos meteorológicos que se dan a mayor escala y el transporte a larga distancia de emisiones.

2.2.3. Emisiones Biogénicas y Antropogénicas

La mayor o menor exactitud con la que se representa el escenario de emisiones base, dependerá de la calidad de las entradas que se le suministren al modelo fotoquímico.

Se considerarán tres fuentes prioritarias: emisiones biogénicas, tráfico y actividades industriales. A las que se añadirá una tercera, emisiones de área, que englobará el resto de emisiones (emisiones de las plantas no industriales, tráfico aéreo, tráfico marino, sector doméstico, etc.).

2.2.3.1. Emisiones biogénicas

Para el cálculo de las emisiones biogénicas se desarrollará un modelo basado en la metodología propuesta en EMEP/CORINAIR (EEA, 2002), en la que se relaciona el potencial de emisión de cada una de las especies vegetales presentes por tipo de usos del suelo, con su densidad de biomasa y un factor de corrección de acuerdo a las condiciones de temperatura y radiación solar propias del lugar, por unidad de área.

De esta forma, para el cálculo de las emisiones biogénicas, es necesaria la siguiente información:

- mapa de usos del suelo en la ventana/malla de trabajo;
- factores de biomasa por tipo de usos del suelo y especie;
- factores de emisión por tipo de uso del suelo y especie;
- información meteorológica horaria de radiación solar, temperatura y presión.

2.2.3.2. Emisiones de tráfico

En la estimación de las emisiones procedentes del tráfico de vehículos se seguirá la metodología establecida por CORINAIR. El cálculo de las emisiones se divide en tres tipos: emisiones en caliente, emisiones en frío y emisiones evaporativas.

Para el cálculo de las emisiones de tráfico, es necesario disponer de la siguiente información:

- red vial;
- intensidad de tráfico y perfiles de tráfico horario y mensual;
- composición del parque móvil;
- velocidad media de circulación por tipo de vía;
- porcentaje de circulación de vehículos por tipo de vía;
- factores de emisión.

El inventario de emisiones atmosféricas de Andalucía proporciona información de las emisiones de los principales contaminantes, clasificadas por provincias y en unidades de toneladas, kilogramos por año. Para la alimentación del modelo fotoquímico es necesario disponer de las emisiones horarias de las especies químicas. De esta forma, hay que realizar, tanto la desagregación de especies químicas (especie compleja a especies más sencillas), como la desagregación temporal (año, meses, días a horas).

2.2.3.3. Emisiones industriales

Para la alimentación del modelo fotoquímico con la contribución de las emisiones industriales, es necesario disponer de la siguiente información:

- Localización de las chimeneas (coordenadas UTM o latitud-longitud)

- altura y diámetro de las chimeneas;
- temperatura y velocidad de salida;
- flujo de la chimenea;
- especiación química para cada industria;
- perfil horario normalizado de emisión;

Deberá disponerse de estos datos tanto para crear el escenario base de emisiones actuales, como los escenarios de emisiones futuras (datos de los nuevos grupos generadores).

2.2.3.4. Emisiones de área

Las emisiones de área se calcularán como diferencia entre las emisiones totales por provincia, y la suma de emisiones biogénicas, móviles e industriales. Las emisiones de área, deberán especiarse químicamente y extrapolar a partir de los datos de emisiones brutos, el perfil horario de emisión.

2.2.4. Usos de Suelo

El mapa de usos de suelo forma parte de la entrada tanto del modelo de emisiones biogénicas, como del modelo fotoquímico. Es por tanto necesario, disponer de un mapa de usos de suelo referenciado espacialmente (latitud/longitud), y con una resolución adecuada para el tamaño de malla (de 1 a 6 km).

Este mapa de usos de suelo, deberá ser procesado para adecuarse a las categorías de usos de suelo del modelo fotoquímico y del modelo de emisiones. El modelo fotoquímico CAMx, utiliza una clasificación de 11 categorías. Las categorías del modelo de emisiones, vienen condicionadas por la disponibilidad de datos de factores de biomasa y emisión.

2.2.5. Información Meteorológica

La información meteorológica necesaria, tanto para el modelo fotoquímico como para el modelo de emisiones biogénicas, se obtendrá de la salida de un modelo meteorológico de alta resolución, que permita tener múltiples dominios o mallas anidadas. Como se ha descrito en apartados anteriores, se utilizará el modelo meteorológico MM5 (PSU/NCAR mesoscale model).

Tomando como partida la modelización de los dos escenarios base, se considerarán varios escenarios previstos, que tengan en consideración el incremento en las emisiones producidas por la puesta en funcionamiento de nuevos grupos generadores en el entorno de la Ría de Huelva.

3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL IMPACTO SOBRE LA RÍA DEL VERTIDO TÉRMICO PROCEDENTE DE LAS TRES FUTURAS CENTRALES PROYECTAS

Los estudios previos dentro del Diagnóstico Ambiental de la Ría de Huelva, apoyados en una serie de medidas de perfiles verticales de corrientes, temperatura, salinidad y turbidez realizados con ayuda del buque oceanográfico García del Cid, permitieron obtener una idea precisa de la dinámica estuarina de la Ría de Huelva. Estableciéndose además, los flujos mareales de entrada y salida de agua de mar dentro de la misma. Esta información se está teniendo en cuenta para establecer la posible incidencia de los vertidos de aguas procedentes de la refrigeración de los grupos de las Centrales térmicas en la Ría. El modelo utilizado no sólo tiene en cuenta los vertidos individuales, sino la posible incidencia secuencial de éstos, teniendo en cuenta las propuestas de ubicación de hasta tres centrales térmicas en el entorno de la Ría de Huelva.

La desembocadura de los ríos Tinto y Odiel conforman el sistema estuarino conocido como la Ría de Huelva. Ésta se halla situada en la costa Sur Oeste de España y presenta un régimen de mareas mesomareal, semidiurno, con una leve desigualdad diaria y con un rango medio que excede los 2 metros. Este régimen de mareas es uno de los factores principales en la evolución costera dentro de la franja intermareal del estuario. Adicionalmente, las mareas son las responsables de los intercambios que se producen entre las diferentes masas de agua que circulan por los estuarios, siendo estos volúmenes los que condicionan la capacidad de dilución de cualquier sustancia que de forma natural o antrópica se vierta dentro del estuario.

El objetivo del presente estudio, es el de predecir el impacto ambiental sobre la Ría de Huelva del vertido térmico de las tres centrales térmicas proyectadas (Figura 23). Este trabajo se basa fundamentalmente en la simulación numérica, para la que se requirieron datos de campo de la hidrodinámica y del transporte de contaminantes de los estuarios. En las simulaciones, se han tenido en cuenta tanto los caudales medios de los ríos y vertidos de las centrales, como el efecto de las mareas. Para lo primero se utilizó el modelo NAUTILUS, mientras que para la propagación numérica de las mareas se utilizó el modelo MAREAS. Finalmente, el modelado numérico del transporte de contaminación térmica se está realizando con el modelo SEASCAPE. A los efectos de realizar dichas simulaciones se crearon varios escenarios hipotéticos en los que los vertidos de las diferentes centrales producen diversas consecuencias sobre el medioambiente

3.1. SITUACIÓN ADMINISTRATIVA DE LAS TRES CENTRALES TÉRMICAS PROYECTADAS

Se han recopilado datos técnicos de las diferentes centrales (caudales, puntos de vertido a la Ría y salto térmico del efluente), así como de la situación administrativa de las distintas solicitudes de las mismas, con el objeto de planificar en el tiempo los hipotéticos escenarios de simulación numérica y en su caso los de toma de decisiones.



Figura 23: Mapa de localización de las tres Centrales Térmicas en la Ría.

La situación de las tres centrales es la siguiente:

- **UNION FENOSA (FASE I):** Son dos grupos de 400 Mw cada uno, que se refrigeran con agua de mar y torres de refrigeración. Tiene Declaración de Impacto Ambiental (BOE N° 52 DE 01/03/2002). El caudal de vertido de cada grupo será de 1.216 m³/h (0,33 m³/s), la temperatura máxima del efluente será de 31,7°C, que se dará en la época en que la temperatura de captación sea la máxima (25,1°C), por lo que el salto térmico será de 6,6°C. En estos grupos existe una variable que es la concentración de sales en el circuito de refrigeración, que pudiera ser que tuviera alguna variación de la inicialmente proyectada (40 % de incremento), y que influiría en los caudales y temperaturas.

- **UNION FENOSA (FASE II):** Propone 3 grupos de 400 Mw cada uno, pero en información recabada del Ministerio de Medio Ambiente podría obtener la concesión de sólo uno. Por otra parte, Union Fenosa ha solicitado la Autorización Ambiental Integrada en la Junta de Andalucía para los dos grupos de la Fase I y un solo grupo de la Fase II. No tiene aún Declaración de Impacto Ambiental. Los caudales y salto térmico son iguales que los descritos en la Fase I.

- **ENDESA (Central Térmica Cristóbal Colón):** Un grupo de 400 Mw, caudal de 30.996 m³/h (8,61 m³/s) y un salto térmico de 6,5°C. Tiene Declaración de Impacto Ambiental (BOE N° 61 de 12/03/2003).

• **ENERGÍA DE HUELVA S.L.:** Ha solicitado 3 grupos de 400 Mw cada uno. Pudiera ser que se autorizara uno solamente al igual que UNION FENOSA FASE II. Se refrigerarían por agua de mar directamente. No tiene aún Declaración de Impacto Ambiental. Según los proyectos, cada grupo tiene una caudal de 24.000 m³/h (6,67 m³/s) y un salto térmico de 9°C. El proyecto total consideraba una gasificadora de G.N.L. que disminuiría algo el salto térmico, pero la gasificadora al parecer no se ha autorizado por el Ministerio correspondiente.

3.2. MODELIZACIÓN POR ELEMENTOS FINITOS DEL VERTIDO TÉRMICO DE LAS TRES CENTRALES ELÉCTRICAS EN LA RÍA DE HUELVA

Después de determinar los parámetros para el modelo, se ejecutó el programa del modelo numérico para simular siete casos de vertido térmico. La Tabla 4 muestra los casos, que varían de acuerdo con el número de plantas de energía en actividad de desagüe, y el número de desagües activos en cada planta. Unión Fenosa, en su máxima capacidad de trabajo, dispondrá de tres grupos de descarga. En el momento de realizar esta simulación sólo hay un grupo autorizado en Unión Fenosa, y se está a la espera de la autorización gubernamental para los grupos segundo y tercero. Además de Unión Fenosa, el plan de producción de energía eléctrica se ampliará con la construcción de Endesa y Energía de Huelva, cada una con un grupo de descarga. El objetivo de la simulación es encontrar cuál de los siete casos se adecuará más a la regulación medioambiental vigente.

La duración del vertido en cada simulación es de 15 días o 360 horas, y se asume que la descarga de agua es continua durante el periodo de simulación.

Tabla 4: Casos supuestos en la simulación.

Planta	Union Fenosa	Endesa	Energía de Huelva
Temperatura °C	6.6	6.5	9.0
Caudal vertido (m ³ /s)	0.338	0.338	6.67
Nº de desagües			
Caso 1	1	-	-
Caso 2	2	-	-
Caso 3	2	1	-
Caso 4	2	-	1
Caso 5	3	1	-
Caso 6	3	-	1
Caso 7	3	1	1

3.2.1. Primer caso

Se supone que un desagüe de Unión Fenosa está evacuando un vertido térmico a la Ría. Los resultados de la simulación muestran que después de 84 horas (3,5 días) la dispersión de la pluma térmica alcanza la orilla opuesta de la Ría y en consecuencia se eleva la temperatura del agua cerca del punto de vertido casi tres grados. Los siguientes

resultados muestran una continua dispersión del agua vertida en la que se sigue observando un incremento de la temperatura del agua. Después de quince días, la pluma continúa dispersándose hacia la desembocadura de la Ría, mientras que Ría arriba alcanza un estado estacionario. La Figura 24 muestra la dispersión del vertido al final del periodo de simulación. Se puede observar un aumento significativo de la temperatura del agua cerca del punto de vertido, y la temperatura del agua ha ascendido unos dos grados en las áreas por las que se ha extendido el vertido.

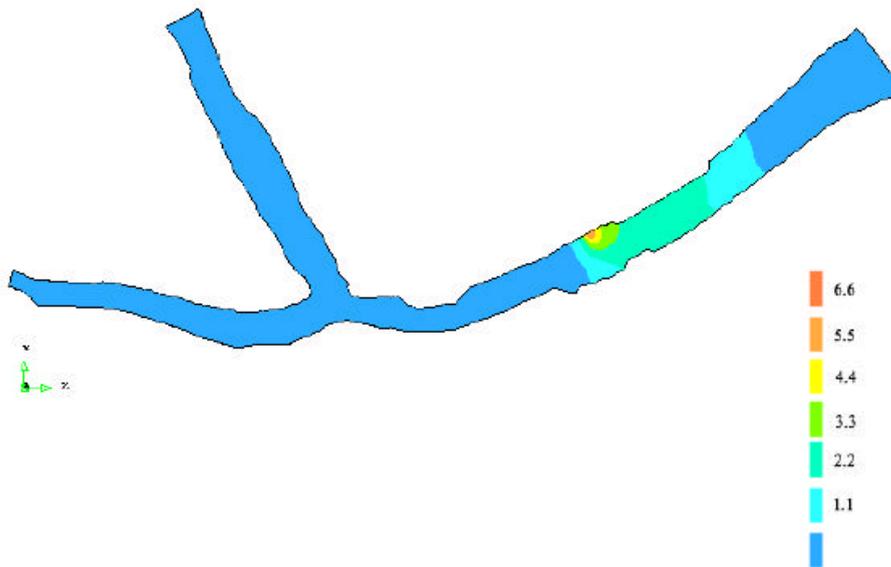


Figura 24: Resultado de la simulación del Caso 1 para un periodo de 15 días.

3.2.2. Segundo caso

El segundo caso contempla dos desagües de Unión Fenosa canalizando su vertido a la Ría de Huelva. En comparación con el caso anterior, la pluma alcanzó la orilla opuesta en sesenta horas (2,5 días) y el volumen de la descarga combinada de dos desagües operativos aumentó el área de las aguas que incrementan sustancialmente su temperatura. Los resultados de la simulación muestran la formación de una pluma térmica más amplia que en el caso anterior, marcada por un cambio drástico de la temperatura del agua. El resultado final, como se muestra en la Figura 25, indica que la dispersión se estabilizó Ría arriba, pero no hacia la desembocadura. Se nota un aumento significativo de la temperatura del agua cerca de los puntos de desagüe y el aumento de la temperatura es mayor que en el primer caso.

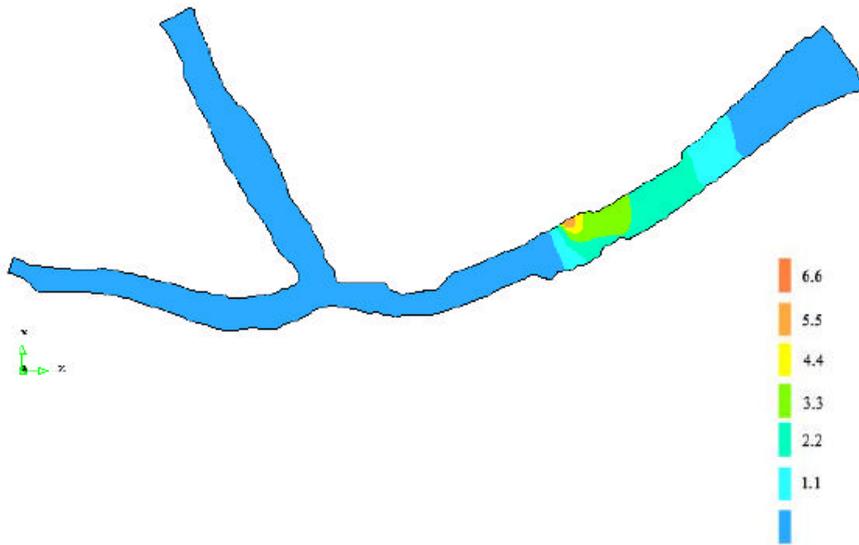


Figura 25: Resultado de la simulación del Caso 2 para un periodo de 15 días.

3.2.3. Tercer caso

En el tercer caso se suponen dos desagües de Unión Fenosa y un desagüe de Endesa vertiendo a la Ría. Es interesante observar el resultado de dos plantas de energía en vertido simultáneo a la Ría. El agua descargada por Unión Fenosa adopta la misma forma que en el caso anterior. Debido a las corrientes mareales, la pluma de dispersión de Endesa tiene un movimiento cíclico muy pronunciado y visible, y alcanza la orilla opuesta en 84 horas (3,5 días) ambos flujos evolucionan a sucesivos estados hasta el final de la simulación. La Figura 26 ilustra la forma del vertido después de 360 horas (15 días). Se observa que la dispersión aún avanza con la corriente mientras que se ha estabilizado Ría arriba. La figura también muestra un importante aumento de la temperatura del agua, especialmente cerca de los puntos de vertido, aunque las dos plumas no llegan a juntarse.

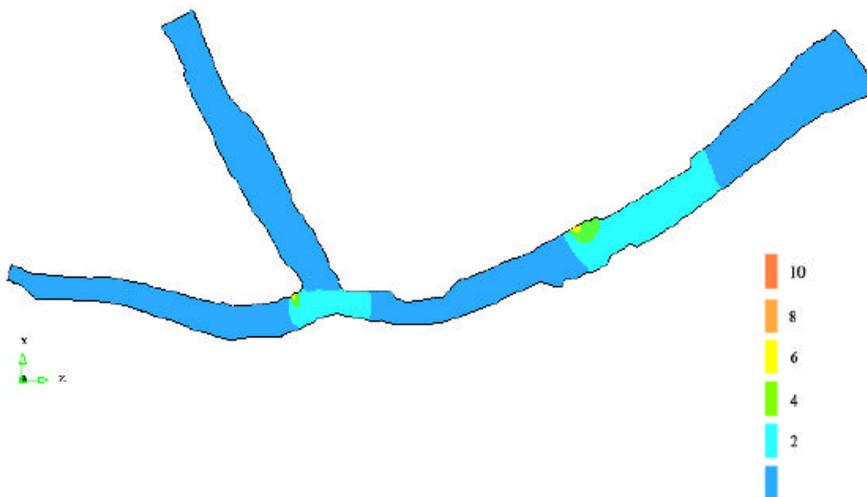


Figura 26: Resultado de la simulación del Caso 3 para un periodo de 15 días.

3.2.4. Cuarto caso

El cuarto caso es una combinación de dos desagües operativos de Unión Fenosa y uno de Energía de Huelva. El vertido de Energía de Huelva alcanza la mayor temperatura de todas las descargas de las tres plantas de energía propuestas. El resultado de la simulación indica que a las 24 horas los vertidos térmicos de las dos plantas se unen. La proximidad entre Energía de Huelva y Unión Fenosa supone algunas complicaciones, ya que se acelera la subida de la temperatura del agua. El flujo térmico combinado de las dos centrales alcanzaría la orilla opuesta en sólo treinta y seis horas (1,5 días) con un aumento mínimo de 2°C de temperatura del agua. La pluma térmica continuaría su progreso a lo largo de la simulación, con el consiguiente aumento de la temperatura del agua. A los seis días el límite de la contaminación térmica se estabilizó Ría arriba mientras continuó su progresión corriente abajo. Al final del periodo de simulación (Figura 27) se observa una amplia extensión de la pluma con un aumento de la temperatura entre 4°C y 6°C.

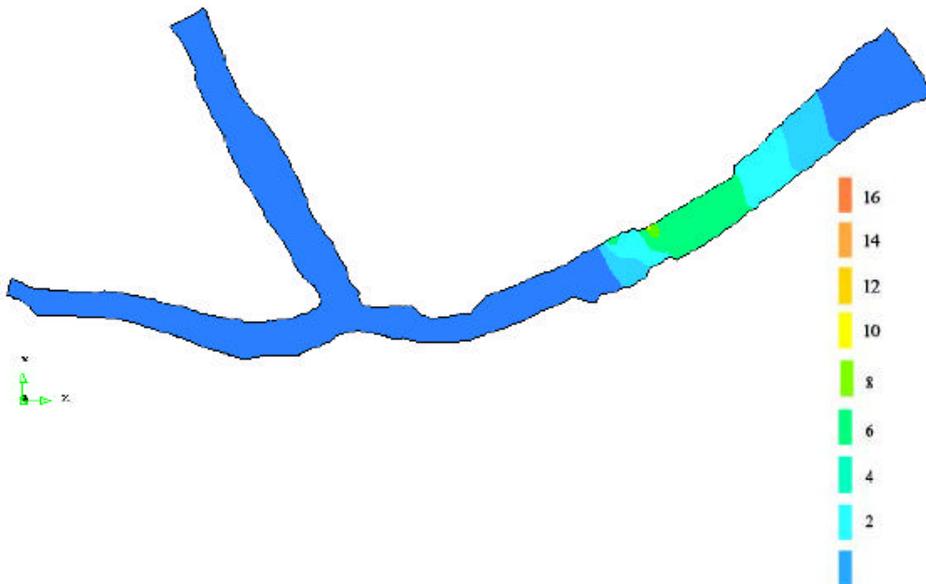


Figura 27: Resultado de la simulación del Caso 4 para un periodo de 15 días.

3.2.5. Quinto caso

El quinto supuesto simula el caso de Unión Fenosa operativa al máximo de su capacidad junto con un solo desagüe de Endesa. Tal como se esperaba, al estar activos todos los desagües de Unión Fenosa se acelera el aumento de la temperatura del agua. El resultado de la simulación muestra cómo el área en la que la temperatura del agua sube entre 4°C y 6°C es considerablemente mayor que en el caso 3, en el que sólo dos desagües vierten su descarga a la Ría. La dispersión de la pluma también se estabilizó Ría arriba pero continuó su expansión corriente abajo. La Figura 28 muestra los resultados finales a los 15 días de la simulación.

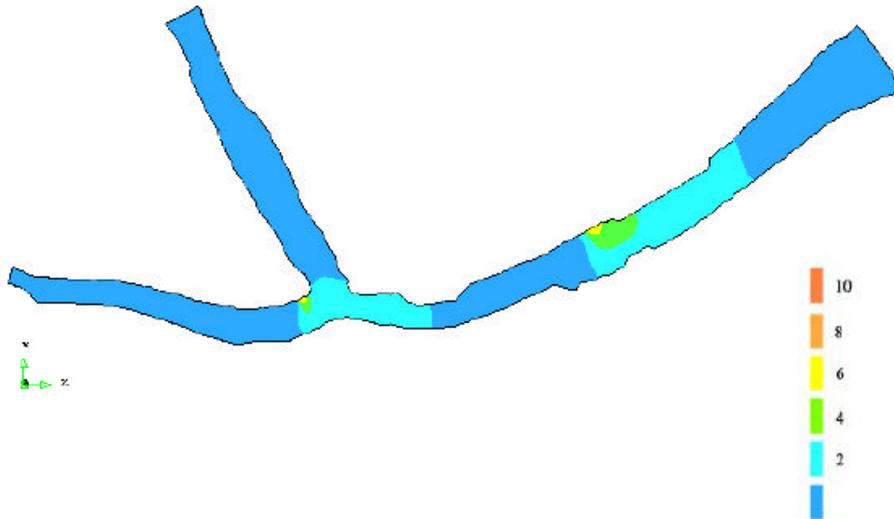


Figura 28: Resultado de la simulación del Caso 5 para un periodo de 15 días.

3.2.6. Sexto caso

En este supuesto los tres desagües de Unión Fenosa trabajan en combinación con un desagüe de Energía de Huelva. A las 24 horas se unen los vertidos de ambas plantas, y el aumento del volumen de descarga resulta en un significativo aumento de la temperatura del agua cerca de los puntos de desagüe. El aumento mínimo de la temperatura de la pluma combinada es de 2°C, y se alcanza la orilla opuesta a las 36 horas (1,5 días). La pluma siguió expandiéndose progresivamente, y al tercer día la subida de temperatura del agua en el área comprendida entre las dos orillas de la Ría oscila entre 2°C y 10°C. La pluma se extendió como en los casos anteriores, estabilizándose Ría arriba pero continuando su progreso hacia la desembocadura de la Ría. La Figura 29 muestra el resultado de la simulación en 15 días.

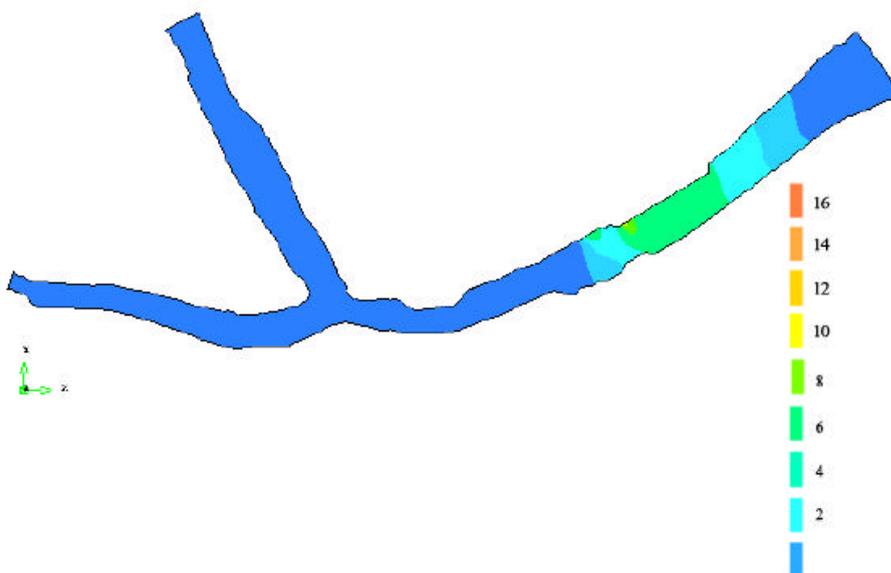


Figura 29: Resultado de la simulación del Caso 6 para un periodo de 15 días.

3.2.7. Séptimo caso

Resulta de interés observar el efecto de las tres plantas de energía desaguando sus vertidos al estuario. En este supuesto, Unión Fenosa está funcionando al máximo de su capacidad, mientras Endesa y Energía de Huelva tienen un solo desagüe operativo. El comportamiento de los flujos térmicos de Unión Fenosa y Energía de Huelva es similar al resultado de la simulación del caso 6. Estos vertidos se unen y su combinación resulta en un notable aumento de la temperatura del agua. El vertido de Endesa adopta la misma forma que en los supuestos 3 y 5. Al final del periodo de la simulación (Figura 30) la temperatura del agua ha aumentado considerablemente.

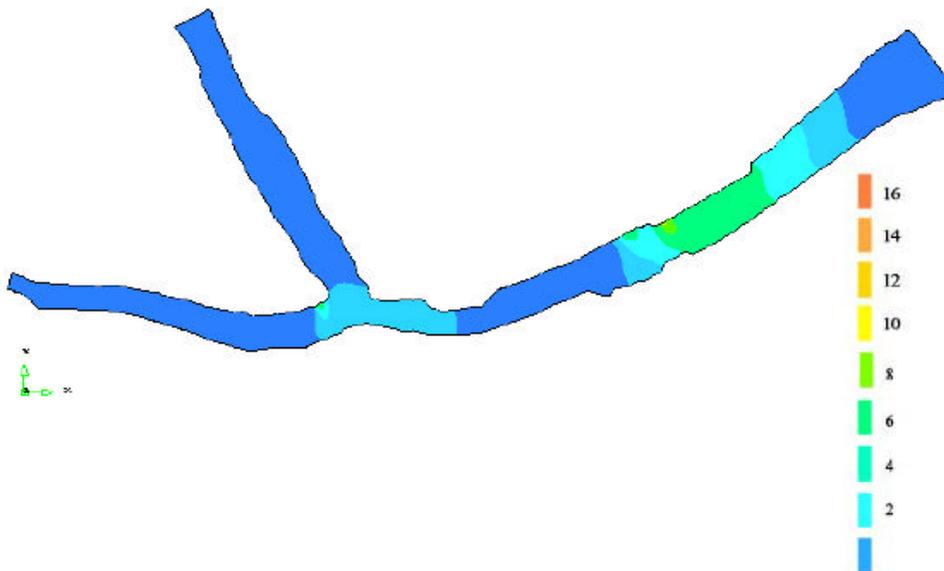


Figura 30: Resultado de la simulación del Caso 7 para un periodo de 15 días.

4. INFORME GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO SOBRE EL TERRENO EN EL QUE SE PRODUCEN LOS VERTIDOS DE FOSFOYESOS

4.1. ENCUADRE GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

4.1.1. Caracterización geológica

Esta información se ha deducido de las hojas geológicas, a escala 1:200.000 y 1:50.000, de la experiencia sobre la zona, y/o de la información obtenida en campo.

La región comprendida en la hoja de Huelva - Los Caños (hoja N° 999. **Mapa Geológico de España (I.T.G.E)**, a escala 1:50.000, muestra extensos afloramientos de formaciones que van desde el Andaluciense al Holoceno, así como algunos pequeños afloramientos de Paleozoico, restringidos al vértice NW de la hoja.

Las dos características generales de la zona son: La división fisiográfica de la región en tres bloques, delimitados por los cauces de los ríos Tinto y Odiel, y la casi total predominancia de material detrítico, que con facilidad se removiliza para dar formaciones más recientes, marinas, fluviales y eólicas.

ESTRATIGRAFÍA (Ref. Hoja N° 999 “Huelva-Los Caños”. I.T.G.E.)

PALEOZOICO

1. Carbonífero.

1.1. *Viseiense* (H^{A3}₁₂)

Sólo aflora en el vértice NO de la hoja, en el cauce alto del río Piedras. Está formado por una potente y monótona serie de alternancias de pizarras y grauvacas. Las grauvacas, materiales detríticos, provienen de la alteración de materiales anteriores; son de color gris claro y aparecen intercaladas en las pizarras, diferenciándose de éstas en que tienen un mayor contenido detrítico, dado que su colorido es idéntico.

Las pizarras llevan fauna de Goniátites y Posidonomias, aunque no se han encontrado en el ámbito de la Hoja.

Litológicamente las pizarras son sericíticas, con algún material detrítico aislado; granos de cuarzo; láminas de mica, alguna clorita detrítica y materiales opacos.

Las grauvacas contienen: cuarzo, plagioclasa, moscovita y biotita cloritizada, su cemento es arcilloso con finas láminas de sericita autógena.

TERCIARIO

2. Mioceno.

2.1. *Andaluciense*

Perconig propuso la creación de un nuevo término estratigráfico para indicar la fase terminal del Mioceno de facies marina, dando como estratotipo las formaciones

margoarenosas de la fase terminal regresiva, del ciclo miocénico, en la serie Carmona-Dos Hermanas.

En la Hoja de Huelva corresponde al Andaluciense un extenso afloramiento del bloque de Huelva, que a su vez constituye el afloramiento más antiguo del Neógeno de toda la Hoja.

Podemos distinguir dos tramos litológicamente diferentes.

2.2. Margas azules (Tm^{Bc}₁₂)

En la parte inferior del Andaluciense encontramos unas margas azules que por su aspecto recuerdan a las margas del Tortonense, pero que aquí se presentan con una microfauna muy significativa del Andaluciense: *Bolivina catanensis*, *B. Spathula*, *B. scalprata miocenica*, *B. dilatata BolivinoIdes miocenicus*, *Ortomorphina tenuicostata*, *G/oborotalia margaritae*, *G. praemargaritae*.

Son unas margas sin estratificación visible, color gris azulada, duras, con láminas de color verde o negro, raramente fétidas en fractura fresca, con pequeñas vetas de yeso en las grietas y en las que es muy frecuente encontrar fragmentos de *Amussium cristatum*. Hacia la parte superior, las margas se hacen arenosas, encontrándose pequeñas indentaciones arenosas que preludian el tramo superior ya francamente regresivo.

2.3. Limos arenosos calcáreos (T^{Bc}₁₂)

Detrás de la plaza de toros de Huelva encontramos una discontinuidad litológica claramente marcada, que nos separa las margas anteriores de unas arenas neríticas con elevado contenido de arcilla y gran cantidad de glauconita, que nos indica la confluencia de aguas continentales, cargadas de sales de hierro procedentes de los macizos paleozoicos, con el mar.

Son arenas de color amarillento, con notoria falta de fósiles bien conservados, ya que sólo presentan algunos moldes de lamelibranchios: *Arcca noae*, *paucicostatum*, *Pitaria islandicoidea*, *Venus multilame.f[fa*, *Venus mercenaria*, *Venus securis*, *Lucina borealis*, *Pecten benedictus*, *Chlamys varia*, *Chlamys multistriata*, *Chlamys inglexa*, *Amussium cristatum*, *Ostrea cochlear*, *Ostreadigitalina*, *Anomia ephidium*, *Natica jorephinia*, *Dentalium inaequale*, *Bolanus concavum*, fauna, por otro lado, poco determinativa, ya que en su mayoría es común al Mioceno terminal y al Plioceno, llegando inclusive a nuestros días.

Sin embargo, al igual que en las margas azules, su microfauna es abundante, determinándose: *Bulimina costata*, *Orthomorphina tenuicostata*, *Uvigerina peregrina*, *U. longistriata*, *Globigerinoides obliquus extremus*, *Uvigerina*, *Globorotalia lupeae*, *Cassidulina laevigata*, *Ehrenbergina alicantina*, *Orbulina universa*, *Globigerinoides trilobus*, *Marginulina constata*, *Cassidulina laevigata carinata*, *Globorotalia aff. acostaensis*, etc., y numerosas especies más que nos permiten atribuir igualmente este tramo al Andaluciense.

Las margas Andalucieneses, salvo en la zona cercana a Huelva capital, donde la montera Cuaternaria las protege y donde los continuos desmontes ofrecen cortes frescos, se presentan bastante alteradas, aunque al dar lehms (depósitos de limos

procedentes de la descalcificación de loes por agua de infiltración) pardos resultan fáciles de distinguir. La textura arenosa nos indica que estamos en la zona superior, mientras que una fractura concoidea y con cierto brillo nos remite a las margas azules en s.e.

En el bloque más oriental, estas arenas llevan: *Panopaea gigantes*, *Xenophora infundibulum*, Pectínidos y Ostreidos.

3. Plioceno

El Plioceno sólo ha podido identificarse con certeza en el bloque más occidental de la Hoja do Huelva, zona de El Rompido-Cartaya, aunque se piensa que el tramo de limos arenosos amarillos dados como Andalucienses sean al menos en su parte más alta Pliocenos, aunque las dataciones no han sido lo bastante determinativas como para permitirnos realizar una separación entre estas dos edades en esta zona.

Se han distinguido dos formaciones diferentes:

3.1. *Margas arenosas* (Tm^B_{21})

Todas estas margas son arenosas en mayor o menor grado, sus colores son generalmente más claros que las margas Andalucienses, es dominante un color amarillento, a veces algo verdoso.

Estas margas, ocasionalmente llevan restos de fauna, generalmente moldes mal conservados, y unos nódulos de forma mal definida que a la fractura presentan una superficie escamosa de láminas de calcita.

No obstante, se ha encontrado una microfauna pliocena característica con *Globorotalia crassula víola* y *Sphaeroídnella desíscens*.

3.2. *Arenas* (Ts^B_{21})

Encima de las margas arenosas, sin un paso claramente visible, por la existencia de suelos de alteración y derrubios de ladera, encontramos unas arenas arcillosas, también con fauna y que en esta zona culminan la serie pliocena, aunque no se han encontrado especies típicas. Salvo en El Rompido, donde encontramos estas mismas arenas, con: *Flabellum culeatum*, *Terebratula ampulla*, entre otros.

Fauna de amplia distribución, pero con algunas especies netamente astienses. También se han encontrado en El Rompido restos de ballenas.

CUATERNARIO

4. Plioceno. Cuaternario (T^B_{2-Q}) (arenas basales)

Se consideran de edad Plio-cuaternaria unas formaciones muy extensas de arenas muy finas y que localmente pueden llevar episodios de arenas gruesas, correspondientes a aportes fluviales muy localizados.

Su contacto con el Plioceno marino se observa con claridad fuera de la Hoja, carretera de Bonares, y no se ve el paso progresivo que algunos autores indican, sino

por el contrario, existe una discordancia erosiva que separa la lumaquela de Ostras pliocenas de las arenas Plio-cuaternarias mucho más sueltas y sin restos orgánicos. En el bloque de Cartaya, por estar erosionadas las arenas, pasan a apoyarse directamente en las margas pliocenas.

Su colorido en la base suele ser amarillo-verdoso muy claro, pasa a blanco y finalmente puede estar afectado de tinción, con lo que su parte alta se colorea de rojo. Invariablemente lleva dos o más costras ferruginosas poco separadas entre sí y de una potencia de 3 cm que fosilizan ripples. Con notable frecuencia muestran tubos de raíces fosilizados por limonita y, a veces, unas curiosas estructuras circulares y concéntricas que se interpretan como impregnaciones de sales férricas en la zona de esponjamiento de la arena producida por las raíces. En otras ocasiones llevan un bandeado de sales de hierro interpretables como superficies de dunas muy débilmente encostradas.

No puede precisarse más su edad debido a que se movilizan y sedimentan simultáneamente a la emersión de las arenas litorales pliocenas, y siendo la regresión progresiva, la edad de estas arenas será más antigua conforme más cerca estemos de la primitiva línea de costa, es decir, más al Interior de la Hoja.

En el estudio petrográfico se observa: el predominio de cuarzo sobre los demás constituyentes es notorio y sus características muy diversas. Encontramos cuarzo plutónico, filoniano, con numerosas inclusiones de zircón y rutilo, metamórfico y cuarcítico. Su redondeamiento varía entre 0,5 y 0,6 y a veces se encuentra aureolado por óxidos de hierro, sobre todo en las muestras de los tramos superiores de la formación, donde la compactación es débil.

Predominio de los fragmentos de roca sobre los feldespatos; en general, los primeros son fragmentos de arenisca, pizarra y esquistos limoníticos, y en los feldespatos hay cierta preponderancia de los Ca-Na sobre los K. Por último, los accesorias son bastante abundantes.

A pesar de que se han realizado pocos estudios sedimentológicos referentes a estas arenas, concluyen a través del diagrama C-M y de los índices obtenidos a partir de las curvas granulométricas, que se trata de un ambiente de deposición paradeltaico, donde ha habido diversos agentes que han influido en su depósito, de tal forma que pese a sus características originales y preponderantes fluvio-marinas, encontramos en algunas zonas sedimentos ,claramente marinos que incluso conservan moldes de moluscos y sedimentos claramente eólicos.

5. Cuaternario

5.1. *Formación roja. glacis (Qcg)*

En el Pleistoceno Inferior hay un notable cambio en las condiciones de sedimentación, pasando a depósitos fluviales, aunque sin dirección determinada, dando un glacis de depósito, con una pendiente hacia el S de unos 5°. Debido a la subsidencia regional, en el Puerto de Santa María se encuentran estos depósitos bajo el nivel del mar.

Su potencia es variable, de 20 m, en la zona N a 10 en la S, estando básicamente constituido por cantos rodados de pequeño tamaño (3 cm) y por arenas groseras, a veces

todo el conjunto presenta estratificación cruzada; se presenta siempre sobre las arenas pliocuaternarias, pero en discordancia erosiva, pudiéndose apreciar gran cantidad de paleocanales.

Siempre se encuentra muy rubefactado y con una fuerte coraza ferruginosa en su parte superior, aunque debido a los agentes atmosféricos, la coraza puede desaparecer y la superficie del depósito se presenta bajo la forma de una acumulación de cantos blancos de cuarcita totalmente sueltos.

5.2. Terrazas (QT₁, QT₂, QT₃)

Tras los depósitos de glaciares del Pleistoceno Inferior se produce el encajamiento de la red fluvial, que sucesivamente da lugar a tres niveles de terrazas.

QT₁.- Terraza de los 50 m. Se encuentran los restos de la terraza alta en la cumbre de Los Cabezos de Huelva capital y frente al pueblo de Aljaraque.

La potencia observable en Huelva es de unos siete metros, estando asentada la terraza sobre las arenas Plio-pleistocenas; comienza por una serie de arenas groseras, pasando a gravas medias y pequeñas con intercalaciones arenosas; todo el conjunto está muy cementado e intensamente rubefactado.

La terraza de Aljaraque tiene una potencia menor (2 m) y no se observa una gradación en los depósitos, apareciendo mezclas de gravas y cantos de diversos tamaños junto con arenas. No obstante, hacia la base, hay un nivel de cantos de cuarcita muy gruesos, diámetro mayor de 20 cm y muy poco redondeados. Al igual que la terraza de Huelva, la de Aljaraque también está muy rubefactada.

QT₂.- Terraza de los 20 m. Bajo esta denominación agrupamos los restos de una extensa terraza fluvio-marina que se extiende paralelamente a la Costa desde El Rompido a la ría de Huelva, siendo luego una terraza fluvio-marina a lo largo de la margen izquierda de la ría hasta cerca de Aljaraque. Su altura oscila entre los 20 y 15 m, aunque se cree que las partes más bajas pueden ser arrastres que provienen de las zonas altas donde la terraza permanece intacta.

En general, los depósitos están muy poco ordenados, parece existir un mayor aplanamiento de los cantos en relación con la terraza alta, y todo el conjunto está muy teñido.

QT₃.- Terraza de los 10 m. Se encuentra en la zona alta del río Piedras y Corrales. En Corrales está formada por arenas y cantos rodados de tamaño pequeño, a veces con estratificación cruzada, estando el conjunto rubefactado. En el río Piedras los cantos son en general de mayor tamaño y angulosos.

5.3. Turberas (Qt)

En el vértice SE de la Hoja de Los Caños encontramos tres pequeñas lagunas: de las Jaras, de la Mujer y de las Madres. En la última, que es la de mayor superficie, se desarrolla desde hace algunos años una explotación intensiva de turba, que según los estudios de palinología y las dataciones con ¹⁴C, se ha formado durante el Holoceno Medio. Todas estas lagunas se asientan sobre zonas excavadas en las arenas Plio-pleistocenas, estando formado por dunas el cierre de la zona costera. En el caso de la

laguna de las Madres, las máquinas excavadoras han exhumado en su totalidad el cauce que actuó como generador y receptor de la turbera; podemos así ver un pequeño río de bordes escarpados que se ensancha progresivamente al alcanzar el litoral y cuya desembocadura, hoy más baja que el nivel de! mar, quedó cegada por la gran cadena de dunas litorales, que en el momento se formaban y trasladaban. La falta de un drenaje eficaz provocó la creación de una zona estancada donde proliferaron de forma extraordinaria plantas de ambiente parálico, cuyos pólenes se encuentran en las turbas.

5.4. Playas (QP)

Estas formaciones marinas son el resultado de la removilización de los sedimentos pliocenos y de las arenas Plio-pleistocenas que en algunos lugares forman acantilados sobre el mar. Suelen llevar cantidades importantes de ilmenita.

5.5. Dunas (QD₁)

Se colocan las dunas en una dirección paralela a la línea de costa en la flecha de El Rompido y en la correspondiente a Punta Umbría. También hay formaciones eólicas de menor importancia sobre las arenas Plio-pleistocenas a causa de su removilización; sólo se han cartografiado en el bloque SE.

5.6. Depósitos fluviales (QAI)

En general, los ríos en la cercanía de la costa, debido a su pendiente, no transportan más que materia en suspensión, la cual floclula y precipita por la acción de las aguas marinas dando extensos depósitos de fangos.

Los aluviones son muy poco abundantes, tan sólo se encuentran en la parte alta del río Piedras.

Los torrentes en régimen de arroyada transportan grandes cantidades de arena arrastrada generalmente de las formaciones Neógenas y cuaternarias. Corresponde al aluvial grosero reconocido en el muro de la capa de fangos.

5.7. Manto eólico (OD₂)

Suprayacente y discordante sobre todas las formaciones anteriormente descritas en el vértice SE de la Hoja, encontramos una formación constituida por arenas blancas, cuya potencia es muy pequeña (20 cm-2 m). Se presenta como un manto eólico, aunque conserva en muy escasos puntos cierta morfología dunar, en algunos sectores se encuentra mezclada con gravas, igualmente provenientes de la degradación de la Formación Roja.

TECTÓNICA

La zona estudiada puede definirse como un substrato paleozoico, donde desde la orogenia Hercínica hasta nuestros días han ido depositándose formaciones mesozoicas, terciarias y cuaternarias que han actuado de cobertera, reaccionando de diferente manera a los esfuerzos tectónicos posteriores, puesto que sus características mecánicas son muy diferentes. El zócalo, rígido, ha tendido a romperse, y la cobertera, muy incompetente, plástica e incluso muy plástica (margas), ha tendido a deformarse. Tenemos pues, definido un caso de tectónica de zócalo y cobertera.

Por geofísica y sondeos mecánicos han podido definirse en la Hoja una serie de alineaciones estructurales (geofísica) que han resultado ser fallas (sondeo mecánico) con escaso desplazamiento de componente horizontal, pero con un salto que a veces alcanza los 200 m.

Encontramos, fallas en dirección NNW-SSE aproximadamente, y la falla del río Tinto en dirección NE-SW, que permite aflorar en Niebla los conglomerados de la base del Neógeno.

El juego de todas estas fallas es complicado, debido a que aún en nuestros días, estas fallas, originadas en la orogenia Hercínica y “rejuvenecidas” en la Alpina, continúan activas, apareciendo una fenomenología de subsidencia continua que configura la forma típica de la costa de esta región. Los depósitos de edad Andaluciense y Plioceno se encuentran localmente con un buzamiento hacia el S de 15°.

El bloque central, Huelva capital, está delimitado por dos ríos cuyos cauces siguen directrices de fallas, y este bloque, aunque obedeciendo a la tónica general de subsidencia en esta Hoja y, por tanto con buzamiento hacia el S, se encuentra levantado con relación a los demás, ya que afloran los sedimentos de margas azules Andalucisenses, incluso a cotas relativamente elevadas y que no aparecen en el resto de la Hoja.

El bloque de Cartaya debió de sufrir un fenómeno de subsidencia antepliocena, que permitió la deposición de un Plioceno marino inicialmente margoso. Esta subsidencia adquirió una importancia tal, siempre considerando este fenómeno como muy local, que los depósitos transgresivos de arenas pliocuaternarias se apoyan directamente sobre el Paleozoico al NO de la Hoja, superando los límites de la transgresión miocena.

Ya en el Cuaternario y con posterioridad a la deposición de las arenas pliocuaternarias se produce un levantamiento general de los bloques, siendo el más importante el del bloque de Huelva, indicado claramente por los buzamientos observables en los tres bloques con un valor de unos 15° en dirección S.

Con posterioridad y hasta nuestros días hay una continua subsidencia de la costa que se manifiesta en la formación de la ría de Huelva y en el descenso del bloque de Huelva, apreciable en períodos históricos.

HISTORIA GEOLÓGICA

Según lo anteriormente citado, aparte de los pequeños afloramientos paleozoicos del NW de la Hoja, no aparecen sedimentos anteriores al Andaluciense. Hay por tanto, una gran laguna de conocimientos directos relativos al Paleozoico más reciente, al Mesozoico y a casi todo el Terciario. Sin embargo, la bibliografía regional, así como los valiosos datos del sondeo Moguer N°1, nos dan una cierta idea sobre la evolución de esta zona durante las épocas cuyos sedimentos no aparecen en superficie.

Durante el Viseiense tienen lugar un hundimiento progresivo, el cual produce la serie monótona de grauvacas y pizarras, por la erosión de las lavas ácidas y básicas emitidas durante el Devónico.

Tras el Carbonífero, y por tanto debido a la orogenia Variscica, parte de la región queda emergida.

Dado que la zona en su mayor parte queda dentro del ámbito de sedimentación triásico, es lógico que sobre el Paleozoico se encuentren sedimentos de esta edad. Según se deduce del sondeo de Moguer N°1, se sabe que se encuentran sobre el Paleozoico, primero unos tramos fuertemente detríticos procedentes de la erosión del macizo paleozoico emergido y a los que se les supone pertenecientes al Buntsandstein, seguidos por unos potentes tramos de arcillas limolíticas, anhidrita y sal del Keuper.

Durante el Jurásico hay una potente sedimentación con calizas arcillosas y dolomías (Moguer 1).

En el Cretácico prosigue esta tónica general de sedimentación de calizas y dolomías (Moguer 1).

En conjunto, la potencia total de sedimentos mesozoicos alcanza la apreciable cantidad de mil setecientos metros, encontrándose el Paleozoico a una profundidad de dos mil cuatrocientos metros.

No poseemos ningún dato sobre la existencia de depósitos del Paleógeno y su posterior evolución.

Durante el Tortonense tiene lugar la deposición de las margas azules del Tortonense Superior, facies que se conservan en los primeros tramos del Andaluciense, el cual se hace rápidamente regresivo en forma de margas arenosas, o inclusive indentaciones arenosas locales; finalmente tenemos arenas Andalucienses francamente regresivas.

Así pues, podemos afirmar que existe una regresión progresiva durante todo el Mioceno, aunque en su fase terminal, limos amarillos, se hace un poco oscilatoria, como lo indican las alternancias de niveles algo margosos con otros totalmente compuestos por arenas. El nivel superior, correspondiente a la regresión finimiocena, está compuesto por limos amarillos y arenas que en su parte más alta llevan una verdadera lumaquela de moluscos, gasterópodos y pelecípodos.

Puede ser que este nivel de lumaquela alcance también al Plioceno, aunque la microfauna de las muestras tomadas en esta formación no es definitiva al respecto.

En la zona occidental, posiblemente debido al juego de los bloques del basamento paleozoico, debió de existir un entrante donde continuó una sedimentación marina de edad pliocena, inicialmente con una profundidad media y finalmente muy somera y regresiva, mostrando un aspecto muy similar a la lumaquela Andaluciense, con restos de gasterópodos, pelecípodos y mamíferos marinos (El Rompido).

Con posterioridad, en toda la cuenca se produce una nueva subsidencia, formándose un fuerte entrante costero con una profundidad variable, donde se instauró una red fluvial, que desde el borde emergido de la meseta proporcionó ingentes cantidades de detríticos que colmataron totalmente la zona; también se removilizaron sedimentos marinos anteriores. El régimen de depósito era de carácter deltaico fluvial, con ciertas interacciones marinas, lo que produce que en este depósito eminentemente continental existan pequeños episodios locales marinos con restos de fauna. Esta

formación localmente quedó emergida, lo que explica ciertos retoques eólicos en estos sedimentos.

Cabe pensar que en el bloque más occidental, Cartaya, arrastres fluviales locales hayan erosionado muy activamente las arenas marinas pliocenas, de tal forma que las arenas pliocuaternarias se encuentran apoyadas directamente sobre las margas pliocenas o sobre un espesor muy disminuido de arenas marinas pliocenas.

Abonan esta idea la presencia de dos cerros testigos de arena marina pliocena, ambos con una estratificación visible y con macrofauna abundante, uno en la carretera de Cartaya a El Rompido y otro en El Rompido, apareciendo rodeados por arenas pliocuaternarias que fosilizan un paleorrelieve.

No encontramos en todo el ámbito de la Hoja sedimentos marinos que nos indiquen un paso Plioceno-Cuaternario. Esto se debe a que existe una subsidencia considerable, de tal forma que la línea de costa, referida al paso Plioceno-Pleistoceno Inferior, se ha localizado a unos treinta kilómetros de la costa actual a una profundidad de unos cincuenta metros, como una barrera de afloramientos submarinos rocosos, areniscas, que se ordenan en una línea paralela a la costa actual.

Durante este período se produjeron varios ciclos de ambiente reductor, dado que en las arenas se encuentran con facilidad dos y a veces tres costras piritosas, así como pequeños niveles de enriquecimiento de sales férricas, que sugieren superficies de “ripples” levemente encostradas y nuevamente recubiertas.

Sobre estas arenas, una vez emergida, ya se desarrolló una vegetación, si no abundante, sí con suficiente densidad como para dejar numerosos tubos de raíces e impregnaciones concéntricas a favor de las zonas de aireación de las mismas.

Durante el Pleistoceno Inferior, y ya la cuenca totalmente emergida, se produce un cambio notable dentro de las condiciones generales de sedimentación; evidentemente existió un período de precipitaciones intensas que permitió la instauración de un gran glacis de depósito, compuesto por arenas y cantos rodados, frecuentemente con estratificación cruzada.

Este periodo en el cual no parece haber una red hidrográfica determinada, culmina con una violenta xeroterminia que permite la formación de corazas de hasta 1 m de potencia; los depósitos se rubefactan en toda su potencia, alcanzando este fenómeno incluso a las arenas inferiores. Aunque no existe una red hidrográfica precisa, se ven con gran frecuencia abundantes paleocauces excavados en las arenas eólicas y colmatados por las gravas y arenas.

Durante el Pleistoceno Medio y Superior podemos apreciar un cambio notable; fundamentalmente la instauración de una red hidrográfica determinada, lo que permite la formación de terrazas.

Terraza alta. 50 m aparece en Huelva y en Aljaraque.

Terraza media, 15-20 m. Es una terraza marina, El Rompido-La Rinconada, y localmente fluvio-marina.

Terraza inferior fluvial, 10 m. Palos de la Frontera, Corrales y Cartaya. Hay que hacer notar que durante este período, los ríos Tinto y Odiel, así como otras corrientes menores de la zona, han sufrido grandes fluctuaciones en cuanto a su recorrido, ya que por la testificación sísmica continua (FOMAR) ha podido constatarse la presencia de gran cantidad de “talwegs” evidentemente aéreos y hoy día sumergidos y recubiertos por sedimentos blandos marinos, a causa de la gran subsidencia de esta zona.

La formación de cadenas de dunas costeras durante el Holoceno Medio produce el taponamiento de algunos cauces fluviales, de forma que se producen condiciones parállicas y es posible la formación de turberas.

Durante el Holoceno Superior son tres los agentes y fenómenos dominantes.

Depósitos eólicos. Podemos distinguir dos tipos diferentes: cadenas de dunas litorales en una dirección paralela a la línea de costa y depósitos de arena transportada eólicamente. pero removilizada de las arenas fósiles del Plioceno o del Plio-Pleistoceno.

Depósitos marinos. Debido a la acción de olas, mareas y corrientes.

Es un fenómeno llamativo la formación de flechas debido a la persistencia de vientos dominantes en dirección SO-NE.

Depósitos fluviales. Los aluviones son extraordinariamente raros, tan sólo en la parte alta del río Piedras. Los fenómenos dominantes, debido a la morfología de las desembocaduras, son los depósitos de limos, floculados en el contacto de las aguas dulces con las aguas marinas.

En la actualidad se produce la removilización y deposición continua de un manto eólico, a expensas de las formaciones arenosas ya citadas, fundamentalmente desde las arenas pliocuaternarias.

HIDROGEOLOGÍA

Debido al complejo dispositivo tectónico del substrato paleozoico, resulta difícil el estudio hidrogeológico de la zona, que más que una componente unitaria puede considerarse como una cuenca dividida en una serie de cuencas hidrogeológicas menores de comportamientos muy diferentes.

No obstante, con carácter general podemos hablar de las características de dos conjuntos.

Formaciones someras (acuífero en fase de estudio)

Compuestas fundamentalmente por arenas y gravas, poseen una apreciable superficie de absorción y una porosidad ideal, en sentido hidrogeológico. Llevan casi siempre margas impermeables en la base. Si consideramos las gravas cuaternarias, sólo dan lugar a manantiales de poco caudal, pero en las arenas neógenas que no quedan colgadas por la evolución geomorfológica se encuentra agua con facilidad. Así mismo, también se pueden considerar acuífero los pequeños niveles más arenosos confinados en la capa de fangos, no obstante, no tienen la posibilidad de transmitir el agua por lo que podemos considerar a esta capa fangosa casi impermeable.

Formaciones profundas

El Paleozoico, debido a que rápidamente pasa a situarse a grandes profundidades (dos mil quinientos metros en Palos de la Frontera), sólo es de interés en la zona N de la Hoja y su transmisibilidad es pequeña, sólo hay infiltraciones a favor de discontinuidades mecánicas, fallas, diaclasas, etc.

Mesozoico. Las dolomías detríticas triásicas, al karstificarse, dan buenos acuíferos, aunque con un caudal modesto. Sólo podrán servir para abastecimiento de poblaciones si se encuentran a una profundidad razonable, aunque un aprovechamiento como almacén de aguas residuales pudiera resultar de interés.

Centrándonos en el acuífero situado en el techo de las margas, podemos decir que presenta, en la zona de estudio, un espesor entre 2 y 5 m, aproximadamente, y está situado a una profundidad razonable, en torno a 20,00 m, pudiendo existir puntos singulares donde se localicen a unos 30,00 m. Como ya se ha dicho anteriormente, se ha llevado a cabo un ensayo de bombeo, utilizando el sondeo SGR-2 como pozo de bombeo, principal o de control y SGR-3 como satélite, es decir sondeo de apoyo para tomar las lecturas de descenso del nivel piezométrico a medida que se bombeaba, manteniendo un caudal constante, desde SGR-2 que estaba situado a una distancia de 6,60 m. Este tipo de ensayo nos permite determinar las propiedades hidráulicas (transmisividad y permeabilidad) del acuífero situado en el techo de las margas, para poder predecir posteriormente su comportamiento bajo situaciones diversas, evaluar la disponibilidad de recursos de agua subterránea, etc. Los datos obtenidos se están evaluando y se aportarán las conclusiones en el siguiente documento, no obstante, no se descarta la realización de un nuevo ensayo de bombeo que corrobore los datos obtenidos en el anterior.

4.1.2. Caracterización geológico-geotécnica

(Experiencia de la zona y/o de los datos obtenidos en campo)

MATERIALES EN EL SUBSUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO (descripción de muro a techo):

- **Paleozoico:** Aflora a 20 km. al Oeste de la zona de estudio, en el río Piedras, con una potente y monótona serie de pizarras y grauvacas de color grisáceo.

- **Mioceno:** existen dos litologías de esta edad:

- *Margas azules:* Es una potente serie de margas azules, mayor de 100 m. Aflora en el entorno de la ciudad de Huelva, y se han cortado en los sondeos SGR-2 y 4 (en el caso de SGR-1 y 3, no se alcanzan la profundidad necesaria para cortarlas, por las razones que se han indicado). A nuestros efectos, constituyen el substrato generalizado del emplazamiento.

Se caracterizan como arcillas margosas gris azuladas y marrón verdosas con vetas gris oscuras y manchas ocres. En los dos sondeos donde se ha alcanzado esta Formación, el techo se reconoce a las siguientes profundidades:

SGR-2.- 27,20 m.

SGR-4.- 32,70 m.

El gráfico de penetración continua tipo “DPSH” no permite establecer se llegó a alcanzarse el techo, pues el rechazo logrado puede ser coincidente con la capa granular que existe sobre el substrato de margas.

- *Limos arenosos calcáreos*: Se trata de un paquete de unos 20 m de espesor que aflora en la parte alta de Huelva y también en Palos. El hecho que no hayan sido cortados por los sondeos realizados es consecuencia de la erosión y de la existencia de una fractura del zócalo paleozoico que discurre a lo largo del río Tinto. Se puede decir por tanto que en la zona que nos ocupa no se encuentran representados.

• **Cuaternario:**

- *Arenas, gravas y cantos*: Se trata de una capa de 2 a 5 m de espesor. De origen aluvial, aflora río arriba, donde la sedimentación costera no los ha ocultado. Se caracterizan como arenas, gravas y cantos cuarcíticos redondeados en matriz areno-limosa marrón rojiza. También se reconocen intercalaciones donde predomina la fracción gravilla y grava. El techo y muro de esta Formación se localiza a las siguientes profundidades:

SGR- 1.- 24,50 - ? m.

SGR- 2.- 18,10 - 22,10 m.

SGR- 3.- 18,60 - ? m.

SGR- 4.- 29,20 - 32,70 m.

El gráfico de penetración continua tipo “DPSH” parece establecer el techo a una profundidad en torno a 19,00 m y previsiblemente el muro entre 23 y 24,00 m.

- *Arcillas limosas y arenas*: Se trata de paquetes con espesores entre 0,50 y 4,00 m, aproximadamente, de color marrón rojizo en unos casos y marrón verdoso en otros. Es mayoritariamente arcilloso, y presenta restos de conchas de organismos. Se caracterizan como arcillas marrón verdosas y rojizas con manchas negras y ocreas. También se reconocen pequeñas intercalaciones arenosas centimétricas. El techo y muro de esta Formación se localiza a las siguientes profundidades:

SGR- 1.- 19,60 - 24,50 m.

SGR- 2.- 17,20 - 18,10 m.

SGR- 3.- 17,30 - 18,60 m.

SGR- 4.- 28,70 - 29,20 m.

El gráfico de penetración continua tipo “DPSH” parece establecer el techo sobre 12,60 m y el muro sobre 18,00 m.

- *Fangos*: Se trata de una potente serie, de 12 a 20 m, de lodos inconsistentes. Se caracterizan como arcillas fangosas gris negruzcas, existiendo episodios milimétricos y centimétricos de arena fina en matriz fangosa. Se pueden apreciar algunos restos de conchas. El techo y muro de esta Formación se localiza a las siguientes profundidades:

SGR- 1.- 7,00 - 19,60 m.

SGR- 2.- 5,35 - 17,20 m.

SGR- 3.- 5,30 - 17,30 m.

SGR- 4.- 5,35 - 28,70 m.

El gráfico de penetración continua tipo “DPSH” acota esta capa entre 4,40 m y 12,40 m, aproximadamente.

- *Suelo vegetal antiguo*: representa una capa de pequeña importancia que aparece por encima de los depósitos fangosos. Se caracteriza por arcillas limosas marrón rojizas y negruzcas con algo de arena y raíces. El techo y muro de este estrato se localiza a las siguientes profundidades:

SGR- 1.- no se ha reconocido.

SGR- 2.- 5,20 - 5,35 m.

SGR- 3.- 5,10 - 5,30 m.

SGR- 4.- 5,20 - 5,35 m.

El gráfico de penetración continua tipo “DPSH” no permite establecer se su acotación, si bien no hay que descartar que pudiera estar representado en el muro de los vertidos de fosfoyesos.

- *Relleno de fosfoyesos*: representan un vertido antrópico subproducto del tratamiento de la fosforita para la obtención de fosfatos, siendo el residuo un fluido que al dejarlo decantar se obtiene la precipitación del fosfoyeso. El techo y muro de esta capa se localiza a las siguientes profundidades:

SGR- 1.- 0,00 - 7,00 m.

SGR- 2.- 0,50 - 5,20 m.

SGR- 3.- 0,50 - 5,10 m.

SGR- 4.- 0,00 - 5,20 m.

El gráfico de penetración continua tipo “DPSH” establece la acotación entre 0,00 y 4,40 m.

Estos residuos corresponden a vertidos fuera del alzado de los terraplenes en los cuales el espesor actual es netamente superior, teniéndose previsto alcanzar una altura en torno a 25 m.

- *Relleno granular*: representa una capa de pequeña entidad y local vertida para la formación del camino que bordea la zona W de la “balsa”. Se caracteriza por arenas, gravas y cantos en matriz areno limosa marrón rojiza. Presenta un espesor en torno a 0,50 m.

CONSISTENCIA Y/O COMPACIDAD:

SONDEO SGR-1	Profundidad	N	Material	Consistencia (C) / Compacidad (Co)
	5,70 - 6,30	17	Relleno fosfoyeso	C - “Firme”
	10,60 - 11,20	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	15,00 - 15,60	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	22,30 - 22,90	15	Arcillas	C - “Media”
	24,50 - 24,79	R	Gravas	Co - “Muy compacta”

SONDEO SGR-2	Profundidad	N	Material	Consistencia (C) / Compacidad (Co)
	4,20 - 4,80	18	Relleno fosfoyeso	C - “Firme”
	8,60 - 9,20	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	10,50 - 11,10	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	18,70 - 19,13	R	Gravas	Co - “Muy compacta”
	21,50 - 22,10	45	Margas	C - “Dura”
	26,60 - 27,20	8	Margas	C - “Media”

SONDEO SGR-3	Profundidad	N	Material	Consistencia (C) / Compacidad (Co)
	2,90 - 3,50	37	Relleno fosfoyeso	C - “Dura”
	11,00 - 11,60	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	16,60 - 17,20	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	20,40 - 21,00	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	25,00 - 25,60	0	Fangos	C - “Muy blanda”
	29,25 - 29,85	38	Gravas	Co - “Compacta”
	34,80 - 35,40	20	Margas	C - “Firme”

CAPA	Valores de N	Valores de N20	Valores de Ni	Consistencia (C) / Compacidad (Co)
Relleno fosfoyesos y suelo vegetal	17 - 37	8 -15 22 - 60	14 - 34	C - “media - firme” / -
Fangos	0	0 -5	0	C - “Muy blanda”/ Co- “muy suelta-suelta”
Arcillas	15	11 - 15 17 - 29	19	C - “media - firme” / -
Gravas	38 - R	29 - 40	R	- / Co - “Compacta - muy compacta”
Margas	8 - 20	-	20 - 31	C - “media- firme” / -

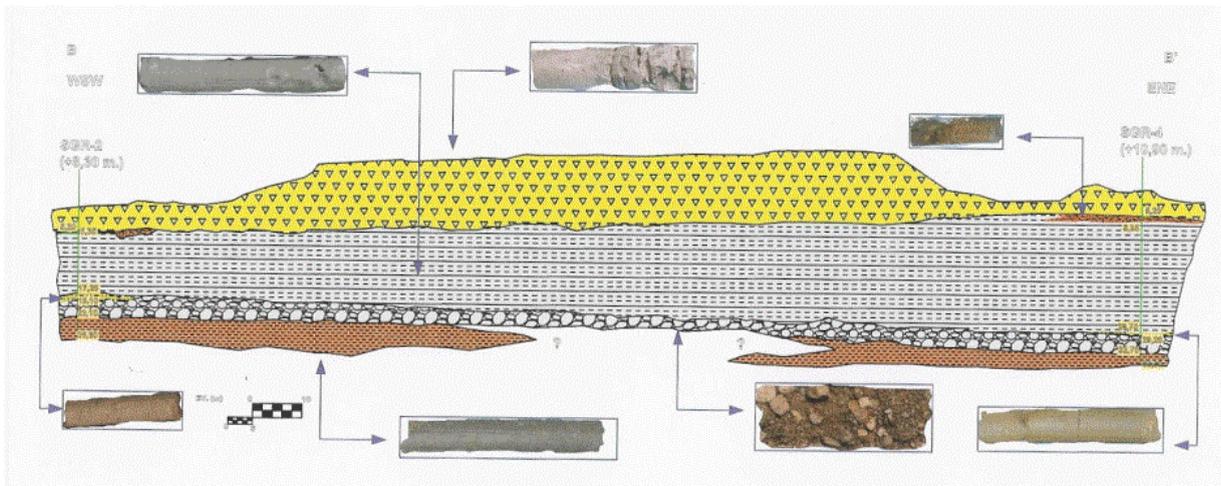
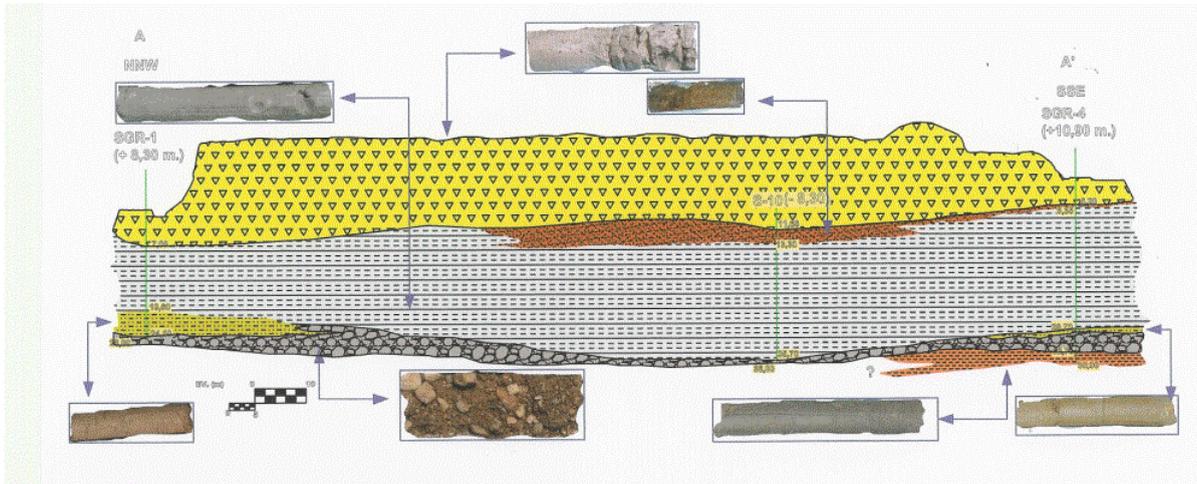


Figura 31: *Perfiles litológicos representativos*

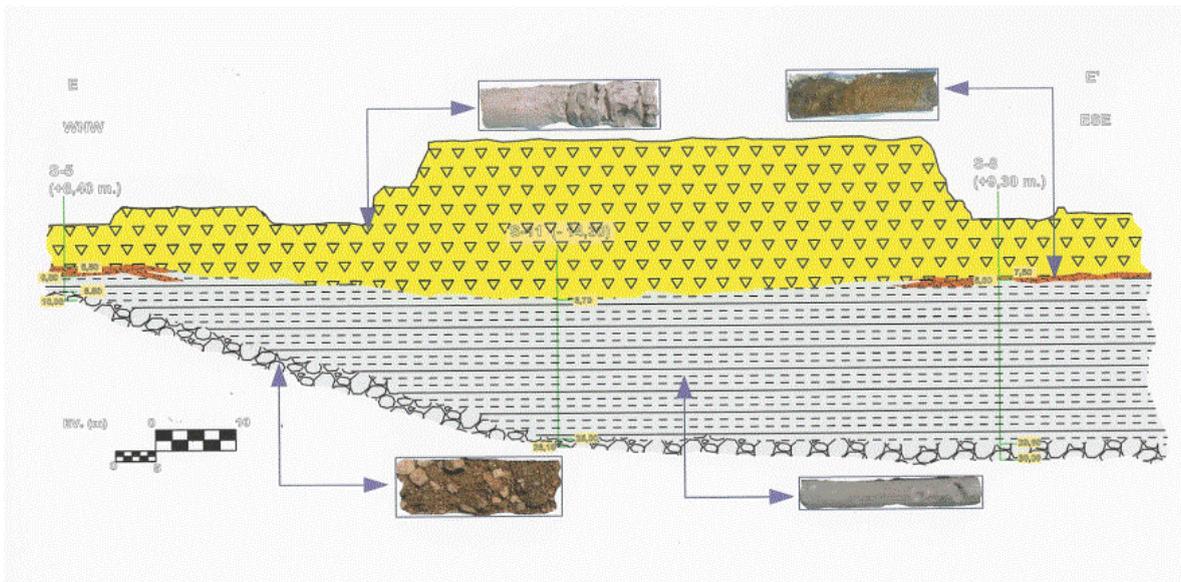
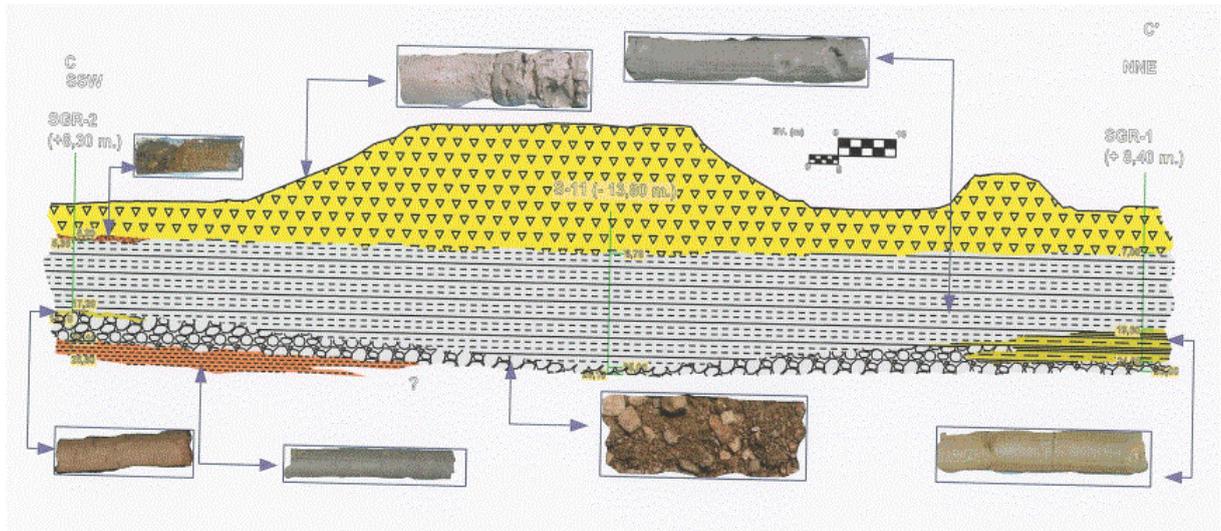


Figura 31 (continuación): *Perfiles litológicos representativos*

CONDICIONES DE AGRESIVIDAD

Se están realizando las determinaciones pertinentes para establecer la agresividad, frente a elementos estructurales de hormigón en masa y armado, de los materiales que constituyen las capas diferenciadas en la serie estratigráfica reconocida hasta alcanzar el substrato generalizado de margas azules, información que se aportará en próximos informes.

No obstante, en lo que se refiere a los vertidos de fosfoyesos su propia naturaleza y grado de acidez, permiten adelantar que se trata de un material de fuerte agresividad por ataque químico al hormigón presentando éste clase de exposición Qc, según la EHE.

4.2. CARACTERÍSTICAS SÍSMICAS DE LA ZONA

La nueva Norma de Construcción Sismorresistente de 11 de Octubre de 2002 (NCSE) proporciona los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en el proyecto, construcción, reforma y conservación de aquellas edificaciones y obras a las que les sea aplicable de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 1.2.

A efectos de esta Norma, de acuerdo con el uso al que se destinan, con los daños que puede ocasionar su destrucción e independientemente del tipo de obra de que se trate, las construcciones se clasifican en:

1.- De moderada importancia.

Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.

2.- De normal importancia.

Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

3.- De especial importancia.

Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las construcciones que así se consideren en el planeamiento urbanístico y documentos públicos análogos así como en reglamentaciones más específicas, y al menos las citadas en el artículo 1.2.2.

La aplicación de esta Norma es obligatoria en las construcciones recogidas en el artículo 1.2.1. y los criterios de aplicación se especifican en el artículo 1.2.3.

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica que suministra, expresada en relación al valor de gravedad, g , la aceleración sísmica básica, a_b , un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, y el coeficiente de contribución, K , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

La aceleración sísmica de cálculo (a_c) se define como el producto de $S \cdot \rho \cdot a_b$ siendo S el coeficiente de amplificación del terreno que toma distintos valores en función de lo que resulte el producto de $\rho \cdot a_b$, ρ es un coeficiente adimensional de riesgo, función de la probabilidad aceptable de que se exceda a_c en el período de vida para el que se proyecta la construcción y a_b es la aceleración sísmica básica.

La Norma también hace una clasificación del terreno otorgando un coeficiente del terreno, C , según:

Terreno tipo	Coficiente C	Descripción del tipo de terreno
I	1	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso.
II	1,3	Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros.
III	1,6	Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme o muy firme.
IV	2	Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando.

Para la zona objeto de estudio se obtienen los siguientes parámetros de cálculo:

Lugar o zona más próxima	Aceleración sísmica básica a_b/g	Coficiente de contribución K	Coficiente del terreno C
HUELVA	0,10	1,3	Margas 1,6 Arenas y gravas 1,6 Fangos 2

La citada Norma establece las siguientes reglas de diseño y prescripciones constructivas en zonas sísmicas en lo referente a la cimentación:

- Debe de evitarse la coexistencia, en una misma unidad estructural, de sistemas de cimentación superficiales y profundos.
- La cimentación debe disponerse sobre un terreno de características geotécnicas homogéneas. Si el terreno de apoyo presenta discontinuidades o cambios sustanciales en sus características, se fraccionará el conjunto de la construcción de manera que las partes situadas a uno y otro lado de la discontinuidad constituyan unidades independientes.

- Cuando el terreno de cimentación contenga en los primeros 20 m bajo la superficie del terreno, capas o lentejones de arena sueltas situadas, total o parcialmente, bajo el nivel freático, deberá analizarse la posibilidad de licuefacción.

Si se concluye que es probable que el terreno licue en el terremoto de cálculo, deberán evitarse las cimentaciones superficiales, a menos que se adopten medidas de mejora del terreno para prevenir la licuefacción. Análogamente, en las cimentaciones profundas, las puntas de los pilotes deberán llevarse hasta la suficiente profundidad bajo las capas licuables, para que pueda desarrollarse en esa parte la necesaria resistencia al hundimiento.

No se considerará la resistencia por fuste de los pilotes en los tramos susceptibles de licuar durante el sismo de cálculo, ni en los situados por encima de estos estratos.

- Cada uno de los elementos de cimentación que transmita al terreno cargas verticales significativas deberá enlazarse con los elementos contiguos en dos direcciones mediante dispositivos de atado situados a nivel de las zapatas, de los encepados de los pilotes o equivalentes, capaces de resistir un esfuerzo axial, tanto de tracción como de compresión, igual a la carga sísmica horizontal transmitida en cada apoyo.

Cuando $a_c \geq 0,16$ g los elementos de atado deberán ser vigas de hormigón armado.

Cuando $a_c < 0,16$ g podrá considerarse que la solera de hormigón constituye el elemento de atado, siempre que se sitúe a nivel de las zapatas o apoyada en su cara superior, sea continua alrededor del pilar en todas las direcciones, tenga un espesor no menor de 15 cm ni de 1/50 de la luz entre pilares y sea capaz de resistir el esfuerzo anteriormente citado.

- En el caso de cimentación por pilotes, es recomendable que éstos posean una armadura longitudinal formada por barras de diámetro ≥ 12 mm. en número mínimo de 6 y separadas como máximo 20 cm. La cuantía mínima de acero será el 0,4% de la sección total en los pilotes hormigonados “in-situ” y el 1% en los prefabricados. En los pilotes de hormigón encamisados en chapa, la sección de ésta, descontada la previsión de corrosión, puede sustituir parcialmente (como máximo el 50 %) a la armadura longitudinal requerida.

4.3. RESUMEN

A continuación aportamos un resumen de la interpretación de toda la información de mayor relevancia que se ha obtenido hasta el momento:

Secuencia estratigráfica tipo.

Se ha definido atendiendo exclusivamente a las diferentes capas diferenciadas estableciendo su correlación con las Formaciones cartografiadas en la Hoja nº 999, Huelva-Los Caños (I.T.G.E). Cada una de las capas se muestran muy homogéneas, al menos a simple vista, por lo que no hemos diferenciado niveles dentro de ellas, si bien

no debe descartarse tal posibilidad una vez se dispongan los resultados de los ensayos de laboratorio y de los restantes trabajos de campo.

En tal sentido establecemos la siguiente secuencia desde la rasante actual hasta el substrato Terciario:

1.-Rellenos:

1.1.- Relleno granular: representa una capa de pequeña entidad e importancia, vertida sobre el camino que bordea la zona W de la balsa. Está constituida por arenas, gravas y cantos en matriz areno limosa marrón rojiza. Presenta un espesor en torno a 0,50 m.

1.2.- Relleno de fosfoyesos: el techo y el muro de esta capa se localizan a profundidades que oscilan entre 0,00 - 0,50 y 4,40-7,50 m, respectivamente, en los puntos donde se ha sondeado. Estos residuos corresponden a vertidos en el pie de los terraplenes que delimitan la balsa.

2.-Horizonte edáfico: representa una capa de escaso espesor (0,15-0,20 m) que se encuentra tapizando los depósitos fangosos, no encontrándose representada en algunos sectores. Corresponde a un antiguo suelo vegetal constituido por arcillas limosas marrón rojizas y negruzcas con algo de arena y raíces.

3.-Depósitos Cuaternarios:

3.1.- Fangos: se trata de lodos constituidos por arcillas fangosas gris negruzcas de consistencia muy blanda, existiendo episodios milimétricos y centimétricos de arena fina en matriz fangosa con compacidad muy suelta-suelta. Aparecen por bajo del antiguo suelo vegetal o directamente sobre el relleno de fosfoyesos, localizándose el techo y el muro a profundidades que oscilan entre 4,40-7,00 y 17,20-32,70 m, respectivamente, en los puntos donde se ha sondeado.

3.2.- Arcillas limosas y arenas: presentan espesores entre 0,50 y 4,00, aproximadamente, apareciendo bajo los fangos, pudiendo no estar representadas en algunos sectores. Se trata de arcillas marrón verdosas y rojizas de consistencia media a firme con manchas negras y ocre; también se reconocen pequeñas intercalaciones arenosas.

3.3.- Arenas, gravas y cantos: Constituye un aluvial grosero con espesores de 2 a 5 m, aproximadamente, situado en el techo del substrato Terciario. Las partículas se muestran redondeadas con distribución textural heterogénea.

4.- Depósito Terciario: sólo aparece representado el tramo inferior correspondiendo a arcillas margosas gris azuladas y marrón verdosas con vetas gris oscuras y machas ocre presentando consistencia madia a firme. En los dos sondeos donde se alcanzó esta Formación el techo se cortó a profundidades de 27,20 y 32,70 m. Por su considerable espesor, previsiblemente superior a los 100 m, constituye a nuestros efectos el substrato generalizado del emplazamiento.

Aspectos hidrogeológicos.-

Teniendo en cuenta únicamente las formaciones someras que pueden ser acuífero, y hasta una profundidad en torno a 32,00 m, podemos distinguir dos Formaciones:

- Fangos: podemos distinguir pequeños niveles más arenosos confinados en esta capa, no obstante, no tienen la posibilidad de transmitir el agua por lo que podemos considerarla casi impermeable.

- Capa granular: situado en el techo de las margas, podemos decir que presenta, en la zona de estudio, un espesor entre 2 y 5 m., aproximadamente, y está situado a una profundidad razonable, en torno a 20,00 m, pudiendo existir puntos singulares donde se localicen a unos 30,00 m. Como ya se ha dicho anteriormente, se ha llevado a cabo un ensayo de bombeo, utilizando el sondeo SGR-2 como pozo de bombeo, principal o de control y SGR-3 como satélite, es decir sondeo de apoyo para tomar las lecturas de descenso del nivel piezométrico a medida que se bombeaba, manteniendo un caudal constante, desde SGR-2 que estaba situado a una distancia de 6,60 m. Este tipo de ensayo nos permite determinar las propiedades hidráulicas (transmisividad y permeabilidad) del acuífero situado en el techo de las margas, para poder predecir posteriormente su comportamiento bajo situaciones diversas, evaluar la disponibilidad de recursos de agua subterránea, etc. Los datos obtenidos se están evaluando y se aportarán las conclusiones en el siguiente documento, no obstante, no se descarta la realización de un nuevo ensayo de bombeo que corrobore los datos obtenidos en el anterior.

Los niveles piezométricos medidos hasta la fecha son los siguientes:

MEDIDAS DEL NIVEL FREÁTICO					
Fecha		SGR-1	SGR-2	SGR-3	SGR-4
17-Mayo-04	Cota (m)	- 4,20	-	-	-
18-Mayo-04	Cota (m)	-	- 4,00	-	-
19-Mayo-04	Cota (m)	-	-	-4,05	-
20-Mayo-04	Cota (m)	-	-	-	-1,90
7-Junio-04	Cota (m)	- 4,70	-4,67	- 4,25	- 1,92
17-Junio-04	Cota (m)	- 4,70	- 4,54	- 4,30	- 1,75

No obstante, estos niveles se seguirán controlando periódicamente hasta el final del proyecto.

Aspectos geotécnicos.-

La secuencia estratigráfica y los resultados de los ensayos de penetración ponen de manifiesto que el principal problema geotécnico en la zona radica en la existencia de la capa de fangos de la que ya se tenía conocimiento, que en principio alcanzaba la rasante primitiva si bien estaría cubierta por un suelo vegetal que debe corresponder al que hoy se sitúa por bajo de los vertidos de fosfoyeso. Su desarrollo hasta alcanzar materiales de mayor competencia (arcillas limosas y arenas; arenas, gravas y cantos o el substrato generalizado terciario) aumenta con carácter general hacia el SSE oscilando el espesor entre 5-25 m y variando la profundidad del muro entre 8 y 34 m, éste presenta ciertas irregularidades morfológicas según muestra el plano hipsométrico.

A falta de datos precisos en relación con los parámetros de compresibilidad del suelo (índices de compresión y entumecimiento; módulo de compresibilidad volumétrica y módulo edométrico; coeficiente de consolidación, presiones intersticiales en zonas afectadas por la sobrecarga inducida por los terraplenes y fuera de la zona de

influencia de éstas, así como capacidad de disipación de las mismas), los resultados de los ensayos de penetración que hemos realizado y los extraídos de la amplia información general que existe al respecto sobre este tipo de suelos permiten adelantar algunos parámetros previsible:

- valores previsible de humedad: 30-60%
- densidad seca: 1,0-1,4 Tn/m³
- densidad húmeda/saturada: 2,6-2,8 Tn/m³
- estructura muy floja
- índice de compresión: 0,300-0,600

La gran deformabilidad que se deriva de estos parámetros permite catalogar este suelo como muy blando y muy deformable si bien la cuantificación de los asientos deberá realizarse para diferentes modelizaciones del esquema estratigráfico y de posibles sobrecargas siendo un factor muy importante a tener en cuenta la velocidad con que se producen los incrementos de éstas y la disipación de las presiones intersticiales correspondientes, pues la gran deformabilidad supone además que la resistencia a esfuerzo cortante sin drenaje sea muy baja (del orden de 1,5-5,0 Tn/m²).

No obstante lo anterior y a falta de cuantificación de asientos que pueden producirse bajo la balsa, sin considerar los que pudieran estar ligados a los propios terraplenes, el posible problema que denotamos en principio de mayor consideración está ligado a los asientos diferenciales que puedan tener lugar como consecuencia del variable espesor de la capa de fangos ya que ello podría originar fisuraciones en los terraplenes conforme éstos vayan incrementando su altura, especialmente los que tienen un desarrollo lineal en la dirección en que se produce las mayores variaciones de potencia por lo que se recomienda que mientras se avanza en la elaboración de este Trabajo y se obtengan datos más determinantes, se adopte la precaución de intensificar las labores de seguimiento en los sistemas de auscultación existentes.

ANEXO I

GRUPOS PARTICIPANTES

UNIVERSIDAD DE HUELVA

Jesús de la Rosa, Dpto. de Geología, Campus Universitario La Rábida s/n, E21819 La Rábida Huelva. Tfno.: 959-017681, fax: 959-017664, e-mail: jesus@uhu.es

UNIVERSIDAD DE GRANADA

Ignacio Valverde, Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Avda. Andalucía, 38. 18071 Granada. Tfno.: 958-244345 / 2923, fax: 958-246115, e-mail: valverde@ugr.es

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

Manuel Espino, Dpto. de Ingeniería Marítima, Universidad Politécnica de Cataluña, C/ Jordi Girona, 31. 08034 Barcelona. Tfno. 93-4016200. e-mail: manuel.espino@upc.es

CEAM

Enrique Mantilla, Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo. Parque Tecnológico. Charles R. Darwin 14. 46980 Paterna. Valencia. Tfno.: 96-1318227, fax: 96-1318190, e-mail: Enrique@ceam.es

CSIC

Andrés Alastuey, Instituto Jaume Almera, C/ Luis Solé Sabaris s/n 08028 Barcelona. Tfno.: 93-4095410, fax: 93-4110012, e-mail: aalastuey@ija.csic.es

Albert Palanqués, Instituto de Ciencias del Mar, CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta, 37-49, 08003 Barcelona. Tfno.: 93-2309517, fax: 93-2309555, e-mail: albertp@icm.csic.es

Juan Luis Ramos, José Luis Guardiola y Ángel Iriarte, Estación Experimental del Zaidín, CSIC, C/ Profesor Albareda 1, 18008 Granada. Tfno.: 958-181600, fax: 958-129600, e-mail: jlramos@eez.csic.es; joseluis.guardiola@eez.csic.es; iriarte@eez.csic.es

ANEXO II

ÍTER COMPARACIÓN DE EQUIPOS DE MEDIDA DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO - JULIO 2004



La Directiva 1999/30/CE, primera Directiva Hija de la Directiva Marco de Calidad del Aire 1996/62/CE, requiere que los Estados Miembros implementen programas de medidas del material particulado en aire ambiente a partir del 19 de Julio de 2001, y presenten anualmente los datos obtenidos con estos programas a la Comisión, y que esta información sea pública. La Directiva establece las metodologías y técnicas para medir los niveles de partículas, bien utilizando la instrumentación del método de referencia o utilizando equipos que puedan demostrar su equivalencia a un instrumento de referencia.

En informes previos se había realizado la intercomparación de los equipos automáticos de medida de PM₁₀ utilizados en la estación de control H. Manuel Lois con los equipos gravimétricos de referencia. En Mayo de 2003 se procedió a trasladar la citada cabina de control al Campus Universitario del Carmen de la Universidad de Huelva. Durante el traslado se realizó una renovación de los equipos de medida de los niveles de PM₁₀ instalando un equipo de medida de la atenuación beta, FAG-EBERLINE. Por este motivo, y teniendo en cuenta el cambio de ubicación se ha considerado necesario

realizar un nuevo ejercicio de intercomparación con los datos disponibles del 2003 con el fin de verificar posibles cambios en los factores de corrección.

Los equipos automáticos considerados han sido los monitores FAG-EBERLINE, tanto el utilizado en H. Manuel Lois como en el Campus del Carmen, y el monitor GRIMM 1107. Las medidas de PM10 obtenidas con los tres equipos se han comparado con las concentraciones obtenidas con un captador de alto volumen MCV PM10 equipado con cabezales PM1025, con un plato de corte de PM10. Además, las concentraciones de PM2,5 obtenidas con el monitor GRIMM 1107 se han comparado con las concentraciones obtenidas con un captador MCV PM10 equipado con cabezales PM1025, con un plato de corte de PM2,5. En ambos casos, en los equipos de alto volumen se han utilizado filtros de fibra de cuarzo Schleicher and Schuell. Las intercomparaciones con el monitor GRIMM se han realizado considerando conjuntamente las medidas realizadas en las dos estaciones de control ya que se sigue utilizando el mismo equipo y no se ha observado ninguna variación estacional en las medidas.

A continuación se resumen los resultados obtenidos, indicando en cada caso:

1. Periodo: periodo considerado
2. N: Número de datos considerados
3. AUTOMÁTICO
 - 3.1. PM10: concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del equipo AUTOMÁTICO para el periodo considerado
 - 3.2. NS: número de días con valores medios diarios, obtenidos con el equipo AUTOMÁTICO, superiores al límite diario establecido por la Directiva EC1999/30 ($50 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$)
4. GRAVIMÉTRICO
 - 4.1. PM10: concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del equipo de GRAVIMÉTRICO para el periodo considerado
 - 4.2. NS: número de días con valores medios diarios, obtenidos con el equipo de GRAVIMÉTRICO, superiores al límite diario establecido por la Directiva 1999/30/CE ($50 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$)

5. Ecuación de regresión obtenida entre las medidas del equipo AUTOMÁTICO y el equipo de GRAVIMÉTRICO ($y=ax+b$; donde y son los valores obtenidos con el equipo automático y x los obtenidos con el equipo gravimétrico), y coeficiente de correlación (R^2)
6. Ecuación de regresión en el origen, obtenida entre las medidas del equipo AUTOMÁTICO y el equipo de GRAVIMÉTRICO ($y=ax$; donde y son los valores obtenidos con el equipo automático y x los obtenidos con el equipo gravimétrico), y coeficiente de correlación (R^2)
7. Factor: factor de correlación obtenido a partir del ratio entre los valores medios de concentración obtenidos con el equipo de GRAVIMÉTRICO y el AUTOMÁTICO

8. AUTOMÁTICO CORREGIDO

Las medidas del equipo candidato se han corregido multiplicando por el factor obtenido a partir del ratio de las medias obtenidas con ambos equipos para el mismo periodo y con el mismo número de muestras.

8.1. PM10: concentración Media de PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del equipo AUTOMÁTICO, para el periodo considerado, una vez aplicada la corrección.

8.2. NS: número de días con valores medios diarios, superiores al límite diario establecido por la Directiva 1999/30/CE ($50 \mu\text{g PM10}/\text{m}^3$), obtenidos con el equipo AUTOMÁTICO, una vez aplicada la corrección.

8.3. En rojo se resaltan los valores obtenidos (concentración media y número de superaciones) después de aplicar la corrección cuando estos no coinciden con los obtenidos con el equipo de referencia.

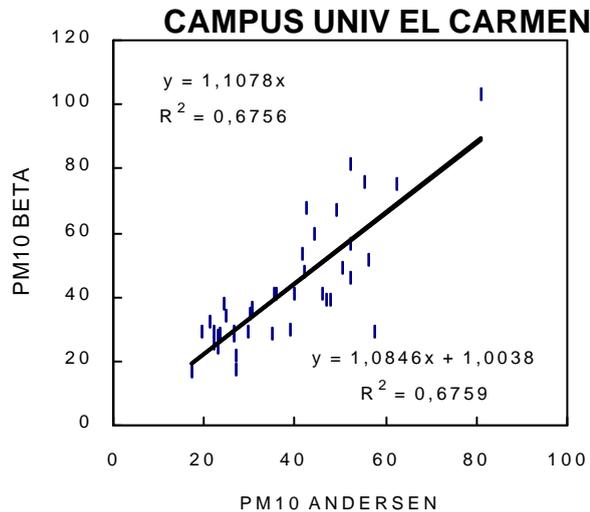
A continuación de la Tabla con los resultados se presentan las gráficas de correlación obtenidas en cada uno de los periodos considerados:

PM10 BETA / ANDERSEN

Campus Universitario de El Carmen

1. EQUIPO AUTOMÁTICO (A)
 - Atenuación Beta. Modelo FH 62 I-N Eberline (FAG)
 - Tubo muestreador con calefactor y protección aislante.
 - Entrada de muestra calefactada a 50 °C
 - Cabezal PM10 1m³/h Graseby, SA 246b, modelo EPA
2. EQUIPO GRAVIMÉTRICO (G)
 - Alto Volumen MCV PM10, cabezal PM1025.
3. PERIODO: 29 de mayo de 2003 al 31 de mayo de 2004.
4. RESULTADOS INTERCOMPARACIÓN

N	Automático	Gravimétrico	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	Candidato corregido
	PM10 NS	PM10 NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10 NS
40	42 11	38 9	$y=1.09+1.04$ $R^2 = 0.68$	$y = 1.11X$ $R^2 = 0.68$	0.90	38 8



PM10 GRIMM / MCV Campus Universitario El Carmen

1. EQUIPO CANDIDATO (C)

Espectrómetro Láser GRIMM 1107

Tubo muestreador con calefactor (5 °C sobre temperatura ambiente)

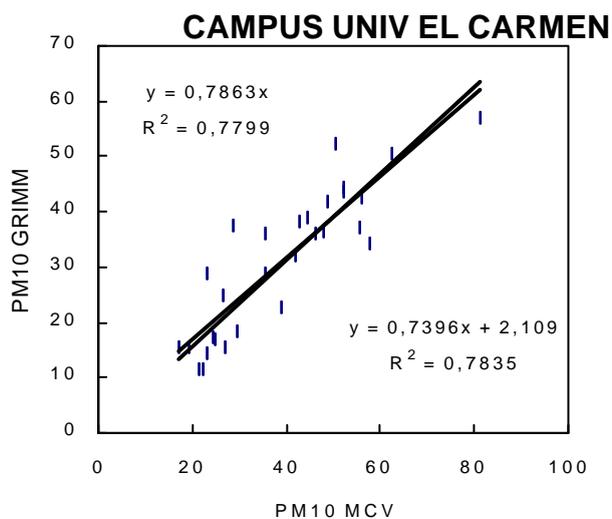
2. EQUIPO Gravimétrico (Ref)

Alto Volumen MCV PM10 , cabezal PM1025.

3. PERIODO: 29 de mayo de 2003 al 31 de mayo de 2004.

4. RESULTADOS INTERCOMPARACIÓN

N	Candidato		Referencia		Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	C.corregido	
	PM10	NS	PM10	NS	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10	NS
39	31	4	38	9	$y=0.74x-2.11$ $R^2 = 0.78$	$y = 0.79x$ $R^2 = 0.78$	1.27	39	9



PM2,5 GRIMM / MCV Campus Universitario El Carmen

1. EQUIPO CANDIDATO (C)

Espectrómetro Láser GRIMM 1107

Tubo muestreador con calefactor (5 °C sobre temperatura ambiente)

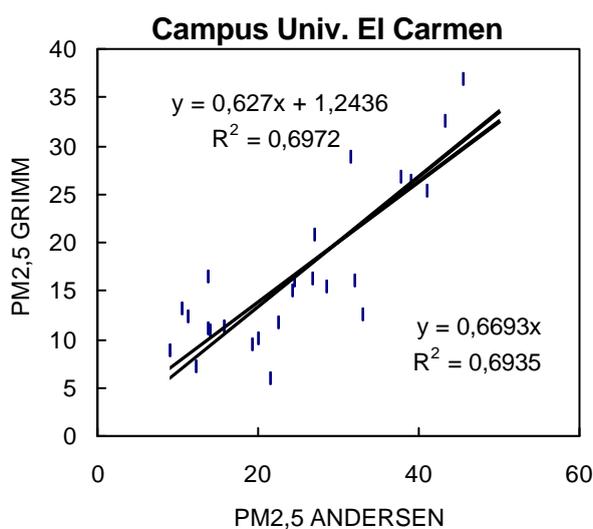
2. EQUIPO Gravimétrico (Ref)

Alto Volumen MCV PM10 , cabezal PM1025.

3. PERIODO: 29 de mayo de 2003 al 31 de mayo de 2004

4. RESULTADOS INTERCOMPARACIÓN

N	Candidato	Referencia	Ecuación regresión	Ecuación origen	Factor	C.corregido
	PM2,5	PM2,5	$A=a*G + b$ R^2	$A =a*G$ R^2		PM10
34	16	26	$y=0.63x-1.25$ $R^2 = 0.70$	$y = 0.67x$ $R^2 = 0.70$	1.49	24



CONCLUSIONES

1. Factores de corrección monitor GRIMM 1107

El valor obtenido en la cabina Campus El Carmen entre Mayo de 2003 y Mayo de 2004 ha sido 1,27, similar al obtenido con el monitor GRIMM en el año 2001 (1,29) y 2002 (1,28) en la estación Manuel Lois.

El valor obtenido para PM_{2,5} con el equipo GRIMM entre Mayo de 2003 y Mayo de 2004 ha sido 1,49, superior al obtenido en el año 2001 (1,37) y 2002 (1,32) en la cabina Manuel Lois.

Las variaciones obtenidas con el monitor GRIMM pueden estar relacionadas con diferentes operaciones de reparación y mantenimiento del equipo.

FACTORES DE CORRECCIÓN 2001	
PM10	PM2,5
1,29	1,37

FACTORES DE CORRECCIÓN 2002	
PM10	PM2,5
1,28	1,32

FACTORES DE CORRECCIÓN 2003	
PM10	PM2,5
1,32	1,57

FACTORES DE CORRECCIÓN 2003-04 El Carmen	
PM10	PM2,5
1,27	1,49

2. Factores de corrección monitores beta FAG- EBERIINE en H. Manuel Lois y Campus El Carmen

El factor de corrección obtenido para el monitor beta instalado en Campus El Carmen ha sido 0,90, superior al obtenido para el año 2003 en la misma estación de muestreo.

El factor de corrección obtenido para el monitor Beta instalado en H. Manuel Lois ha incrementado desde 2001 (1,13) hasta 2003 (1,38), aunque en este último año sólo estuvo operativo hasta Mayo.

FACTORES DE CORRECCIÓN 2001	
H, Manuel Lois	C U El Carmen
1,13	--

FACTORES DE CORRECCIÓN 2002	
H, Manuel Lois	C U El Carmen
1,15	--

FACTORES DE CORRECCIÓN 2003	
H, Manuel Lois	C U El Carmen
1,38	0,76

FACTORES DE CORRECCIÓN 2003-04	
H, Manuel Lois	C U El Carmen
--	0,90

ANEXO III

ACLARACIONES EN RELACIÓN CON LAS CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN RADIOLÓGICA DE LAS BALSAS DE FOSFOYESO DEL 6º INFORME DEL CSIC

En relación con el apartado de Conclusiones y Recomendaciones del **6º Informe del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)**, publicado el 21 de Enero de 2.004, concretamente con su apartado dedicado a "Conclusiones de la evaluación radiológica de las balsas de fosfoyeso", se realizan las siguientes puntualizaciones o aclaraciones.

En estas Conclusiones de la evaluación radiológica de las balsas de fosfoyeso, página iv, párrafo 2º, renglones 4º a 7º, el citado informe expone:

"... Estas concentraciones son unas 20-30 veces superiores a las de los suelos típicos, que unido al hecho de que ellos y sus descendientes son emisores gamma, por lo que pueden suponer un riesgo radiológico para las personas que realicen actividades sobre las balsas sin cubrición alguna que actúe como blindaje."

Lo que se pretende indicar en esta frase es la necesidad de evaluar las dosis radiológicas recibidas sobre las balsas por los trabajadores, las cuales se estima que son inferiores al límite anual para el público.

1. Dosis recibidas por los trabajadores en las balsas de yeso

Los datos del citado informe indican que, en el peor de los casos (punto de medida de tasa de dosis más alta), la dosis recibida en la zona con más radiación del actual apilamiento de yeso es de 2,47 mSv/año, es decir, que si una persona permaneciera ininterrumpidamente durante las 8.760 horas que tiene el año en el punto donde se ha medido el valor más alto, recibiría la dosis indicada.

Sin embargo, puesto que un operario trabaja 1.800 horas/año, recibiría, en el peor de los casos, una dosis de solamente 0,49 mSv/año de trabajo, procedente del fosfoyeso, lo que es algo menos del 50 % del límite fijado por el Real Decreto para miembros del público.

No obstante, se debe indicar que no se dispone de mediciones de las dosis que puedan recibir los operarios que trabajan en el interior de las cabinas de las palas o dragas que operan en la zona de fosfoyesos. La carcasa de dichas máquinas es probable que actúe como blindaje y que la dosis efectiva recibida por los trabajadores sea inferior al límite fijado por el Reglamento para miembros del público.

FE DE ERRATAS

En relación al 5° y 6° informe del CSIC se han detectado algunas erratas tipográficas o de cambio de unidades que indicamos a continuación:

5° Informe del CSIC

- Todas las cantidades iguales a “1333 Bq/m² h” deben ser sustituidas por la de “2664 Bq/m² h”. Se ha detectado un factor “2” debido a un error de cálculo en el cambio de unidades.
- En la página 183, final del párrafo tercero dice: “Este valor sólo se sobrepasa en la balsa activa norte y en la zona divisoria de las balsas activas”. Debería decir: “Este valor sólo se sobrepasa un 10% del valor guía establecido por la citada norma en la el divisorio interno de la zona 2”

6° Informe del CSIC

- En la página iv de Conclusiones y Recomendaciones, párrafo 3°, se indica “En la zona 1 (restaurada) se ha determinado un valor medio de 31 ± 9 miliSievert por año. Este valor es similar, e incluso algo inferior, al medido en zonas no perturbadas de su entorno, y que fue de unos 40 mSv/año.” Las cantidades anteriores han perdido la coma decimal existente en la versión original, por lo que deben ser sustituidas por $0,31 \pm 0,09$ y $0,40$, respectivamente.