

Dr. Millán Millán Muñoz
Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo
San Sebastian, 27-11-2003

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EL SUR DE EUROPA: RESULTADOS DE PROYECTOS DE EUROPEOS

RESUMEN

La dinámica de contaminantes en la cuenca mediterránea viene condicionada en gran medida por el desarrollo de circulaciones mesoescalares, que rellenan el campo general de circulación a gran escala. Estos flujos locales están fuertemente condicionados por las características geográficas y climáticas de la cuenca, y en cada emplazamiento aparecen generalmente ligadas a los principales accidentes orográficos. Suelen presentar un marcado ciclo diurno y variación estacional. Algunos procesos importantes desde el punto de vista de la dinámica de contaminantes como son los procesos recirculatorios, la formación de estratos de reserva o la inyección en niveles altos están fuertemente ligados al desarrollo de tales circulaciones. En la presente comunicación se hace una revisión de algunos resultados importantes obtenidos en diversos proyectos de investigación financiados por la CE, que abarcan un periodo desde 1988 a 2003.

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES.

Los procesos meteorológicos a lo largo de toda la región mediterránea durante el verano están dominados por dos sistemas béricos semipermanentes, situados a ambos extremos de la cuenca, tal y como se ilustra en la Figura 1. En el extremo occidental se encuentra el anticiclón de las Azores y en el margen oriental se sitúa el sistema de bajas presiones que se extiende desde el Oriente Medio hasta el Sudeste Asiático (en lo que constituye el sistema monzónico). Como resultado de esto, se pueden producir diferencias de presión de hasta 30 a 40 HPa entre la costa atlántica y la península arábiga (HMSO, 1962) Los sistemas frontales clásicos que se acercan desde el Atlántico viajan principalmente al Norte de los Alpes y, aproximadamente, a mitad de camino de los dos anteriores sistemas meteorológicos principales. El flujo promedio se desvía hacia el Sur sobre la Gran Llanura Húngara y más hacia el Sur, hacia el Norte de África, vía el mar Adriático y Jónico y/o el mar Negro, Egeo y la cuenca levantina.

La climatología, las propiedades del suelo y los sistemas montañosos que rodean la cuenca propician el desarrollo de fuertes brisas marinas, vientos de montaña o combinaciones de ambas, dependiendo de la geometría costa-montaña. Es también un hecho frecuente en toda la región el desarrollo de intensos vientos canalizados orográficamente, tanto como resultado de flujos de drenaje ayudados por el proceso de subsidencia y/o canalizaciones a larga escala (Scorer, 1957). Finalmente, las mismas condiciones también favorecen la formación de extensas y profundas células convectivas y/o bajas térmicas sobre las principales extensiones terrestres.

Así, ligado a las estructuras meteorológicas macroescalares, se desarrollan otros sistemas mesoescalares durante el día, con subsidencias compensatorias importantes (p.e. los sistemas de bajas térmicas que se forman en las penínsulas Ibérica, Itálica y de Anatolia), que pueden modificar fuertemente los flujos regionales durante el día.

Los procesos mesoescalares de origen térmico se hacen semipermanentes, con un marcado ciclo diurno, en ambos extremos de la cuenca mediterránea, donde la dominancia de los dos sistemas béricos mayores está bien establecida. Esto ocurre en el caso de las bajas térmicas sobre las penínsulas Ibérica y de Anatolia. La cuenca central, incluyendo Italia y hasta cierto punto la región Helénica, pueden considerarse como la frontera natural entre los sistemas de presión constituidos por el Anticiclón de las Azores y la Baja Monzónica y de su influencia directa. A todos los efectos, la cuenca mediterránea está colocada en el corredor entre los engranajes de los sistemas meteorológicos mayores. Por ello, cualquier cambio en el patrón de presiones asociado con éstos puede modificar significativamente y abruptamente el balance entre los procesos mesoescalares predominantes en toda la cuenca mediterránea occidental. Esto condiciona también la posibilidad de que se desarrollen las circulaciones locales (inducidas térmica o mecánicamente) o bien sean amortiguadas por los procesos sinópticos.

En la Europa del Sur la evidencia experimental acumulada hasta 1986 había mostrado que los problemas de calidad del aire estaban gobernados por procesos meso-meteorológicos, con marcado ciclo diurno y escalas espaciales de decenas de Km (Lalas et al 1983, Millán et al. 1984, 1987). Comenzando en 1979, el seguimiento de penachos de chimeneas altas de SO₂ mediante sistemas COSPEC en varias regiones de España, durante el periodo estival, había puesto de manifiesto también que la formación de bajas térmicas estaba fuertemente correlacionada con la convergencia de vientos superficiales desde las costas hacia el interior de la Península y con los altos niveles de O₃ a lo largo de la costa mediterránea española (Martín et al. 1991, Millán et al. 1991). Tales observaciones igualmente sugirieron la posibilidad de que se produzca convección profunda sobre la Meseta Central, acompañada de la consiguiente subsidencia compensatoria en las áreas circundantes. El análisis de los datos disponibles confirmaron también la periodicidad diurna de los procesos involucrados, y confirmaron la extensión de sus dimensiones espaciales de decenas hasta pocos cientos de Km.

Esta evidencia constituyó la base de los primeros esfuerzos científicos europeos centrados en la dinámica de la contaminación en el Mediterráneo. El proyecto MECAPIP se orientaba al estudio del origen y evolución de las circulaciones atmosféricas responsables del comportamiento observado sobre la Península Ibérica (Millán et al. 1992). Los proyectos RECAPMA y SECAP le siguieron para la caracterización de la continuidad de tales procesos sobre el Mediterráneo occidental y borde atlántico, extendiéndose a toda la cuenca mediterránea en el segundo de ellos. En lo que sigue se revisarán algunos de los resultados obtenidos en los mismos hasta hasta 1995.

PROYECTO MECAPIP: LOS EFECTOS DE LA BAJA TERMICA IBERICA.

Los siguientes procesos se han documentado sobre la Península Ibérica en verano:

Durante el día la brisa de mar se combina con vientos de ladera para transportar contaminantes costeros tierra adentro (hasta 60-100 Km en la costa Este), mientras que, en el borde frontal de la célula de brisa, una larga fracción de estos son inyectados en los flujos de retorno en altura (Figura 2), a alturas que van de 2 a 3 Km.

Una vez allí, los contaminantes se mueven hacia el mar en el flujo de retorno, dónde la subsidencia compensatoria crea capas de reserva estratificadas, en las que los contaminantes envejecidos se ven confinados hasta alturas de 2 a 3 Km, a lo largo de la costa sobre el mar .

Estas capas actúan como reservorios y retienen ozono de un día para el siguiente. Con el inicio de un nuevo día las capas más bajas son arrastradas tierra adentro por la brisa de mar, y los contaminantes envejecidos pueden reaccionar con emisiones costeras frescas.

Experimentos con trazadores indican que los tiempos de recirculación de las primeras emisiones costeras, durante la brisa, hasta su reentrada con la misma (como si procediese del mar) son del orden de 2 a 3 días (Millán et al. 1992).

Por lo tanto, estos mecanismos pueden considerarse que forman un gran reactor fotoquímico que opera a lo largo de la costa casi cada día desde primavera a otoño. Para periodos de varios meses puede generar niveles de ozono 2 a 3 veces superiores a lo que indican las directivas comunitarias como umbrales de daños a la vegetación (Figura 3).

En estos procesos, algunos de los contaminantes costeros son transportados tierra adentro a lo largo de los pasos naturales que conectan la costa con la meseta central.

Sobre la meseta se desarrolla una o más células convectivas profundas, que alcanzan fácilmente 3.5 a 5 Km de altura, y que inyectan contaminantes envejecidos, tanto de la zona de Madrid como de aquellos transportados previamente de las áreas costeras, directamente en la troposfera media (Millán et al. 1996).

Los resultados de modelización a alta resolución muestran que el patrón de comportamiento está lejos de ser uniforme. En general, los flujos evolucionan y se funden entre sí, generándose varias líneas de fuerte convergencia, que resultan ligadas a algunos de los principales elementos orográficos de la Península Ibérica al final del día. En la Figura 4 se presenta un caso concreto de este comportamiento para el día 20 de Julio de 1989, a las 18 horas, en que la baja térmica sobre el centro peninsular ha alcanzado un desarrollo considerable. Los resultados del modelo indican también que la estructura total de la célula asociada a la baja térmica no es tan simétrica como había sido anticipada, pudiendo así detectarse fuertes asimetrías a lo largo de los ejes N-S y E-O, y que la estructura última observada en uno cualquiera de los días depende de lo que ha ocurrido el día previo.

PROYECTO RECAPMA: PROCESOS COMPENSATORIOS A LA BAJA TÉRMICA PENINSULAR Y CONTINUIDAD SOBRE EL MEDITERRÁNEO OCCIDENTAL.

Un factor importante para que se desarrollen dichas circulaciones térmicas, y para su asimetría, es que la subsidencia del anticiclón de las Azores se debilite a través de la Península Ibérica desde el Atlántico al Mediterráneo. El calentamiento solar y la formación de la baja térmica debilitan aún más el proceso de subsidencia general sobre la Península durante el día y producen una compensación dinámica sobre el Mediterráneo y Atlántico, la cual intensifica el proceso de hundimiento sobre las aguas más frías.

Para documentar la continuidad de los estratos sobre el Mediterráneo Occidental, durante el proyecto RECAPMA se realizaron perfilamientos verticales mediante un avión instrumentado sobre la cuenca Balear, en 1991. La Figura 5 muestra uno de los perfiles obtenidos al Sur de la isla de Mallorca a unos 300 KM de las costas levantinas españolas. Estos fuertes niveles de subsidencia documentados, con velocidades de hundimiento que alcanzan valores de 10 a 15 cm/s, se desarrollan durante varias horas a lo largo de la tarde. Ello sugiere también que las subsidencias compensatorias de la mayor parte de las circulaciones costeras en torno al Mediterráneo Occidental podrían extenderse en realidad a toda la cuenca.

PROYECTO SECAP: ESCENARIOS DE TRANSPORTE A LARGA DISTANCIA.

Para cada una de las cuencas principales del Mediterráneo, se han identificado escenarios de transporte, que se pueden agrupar en las siguientes categorías:

Cuenca Mediterránea Occidental y Costa Atlántica.

El primer escenario involucra a los contaminantes inyectados de 3 a 5 Km sobre la meseta central peninsular directamente en la media troposfera. Sobre la base de los vientos predominantes a dichas alturas, los contaminantes pueden alejarse dentro del sector que cubre desde el SE al NE de España. Estos pueden ser responsables del transporte a larga distancia de fotooxidantes hacia Centroeuropa, y explicar la recientes tendencias en elevados valores de O₃ registrados en estaciones de observación muy altas en los Alpes en las noches de verano (Sandroni et al 1993), no fácilmente adscribibles a transporte de montaña desde los estratos de superficie.

Por otra parte, los fuertes niveles de subsidencia documentados sobre la cuenca balear permitirían que dichas capas superiores, cuando son transportadas por el flujo general de altura sobre la cuenca balear se hundiesen hasta ponerlas al alcance de alguno de los sistemas circulatorios locales que se desarrollan a lo largo de las regiones costeras (Italia, Norte de África, etc) 2 ó 3 días después.

El segundo escenario se refiere a la dinámica de los estratos de reserva creados a lo largo de la costa Mediterránea, en la cual participan como factores determinantes el área semipermanente de altas presiones sobre las aguas más frías del golfo de León, las cadenas montañosas que rodean la cuenca occidental y los procesos costeros que se desarrollan a lo largo de la misma.

Durante el día los flujos de retorno de las circulaciones costeras renuevan las capas de reserva superiores, mientras que los más inferiores son arrastrados tierra adentro con la brisa de mar y, por tanto, el flujo efectivo cerca de la superficie es mayormente perpendicular a la costa. Durante la noche no obstante, la subsidencia anticiclónica dentro de la cuenca mediterránea occidental confinada por las cadenas montañosas periféricas, genera vientos en superficie (hasta alturas de 700 a 1000 m) que son forzados a fluir a lo largo de la costa española mediterránea. Esto produce fuertes vientos en el estrecho de Gibraltar, como son los vientos de Tarifa (Scorer 1975). Las capas de reserva formadas durante el día se mueven a lo largo con dicho flujo y pueden alcanzar el Atlántico después de varios ciclos de reentrada y estratificación durante el día, seguido del transporte nocturno a lo largo de la costa.

Parte de los contaminantes pueden ser inyectados hacia niveles superiores, por encima del nivel de subsidencia principal del anticiclón de las Azores, favorecidos por un efecto orográfico sobre las laderas meridionales de Sierra Nevada (>3000 m) en el Sur de España. Este mecanismo de transporte, si verificado, podría explicar algunos de los altos niveles de O₃ en la estación de fondo de Izaña (islas Canarias) en verano, no fácilmente atribuibles a intrusiones estratosféricas sobre el Atlántico. Los contaminantes remanentes en las capas inferiores pueden también viajar a lo largo de la costa africana con los vientos alisios.

Finalmente se han documentado ciertas evidencias de un posible transporte neto de contaminantes inyectados convectivamente sobre Francia, los Países Bajos y parte de Alemania, a lo largo de la costa Norte española y portuguesa, hacia el Atlántico Central. Estas masas de aire se hunden a medida que se mueven a lo largo del borde portugués durante el día y, en su desplazamiento hacia Izaña y más lejos hacia la costa africana, podrían juntarse con otras masas contaminadas, venteadas desde la cuenca mediterránea.

Cuencas Mediterráneas Central y Levantina.

Sobre la Península Itálica se desencadenan tormentas en verano casi todas las tardes a lo largo de la cordillera de los Apeninos, fruto de los procesos de convergencia de las brisas de mar desarrolladas sobre las costas del Adriático y Tirreno (Cantú y Gandino, 1977). El transporte de fotooxidantes desde la costa hacia el interior ha sido documentado en los proyectos anteriores, siendo igualmente probables la formación de estratificaciones a lo largo de las costas italianas, involucrando brisas marinas, vientos anabáticos, y sus flujos compensatorios. El desplazamiento global a lo largo de la costa, como resultado del gradiente de presión predominante, se espera que sea hacia el Sudeste.

Dentro del proyecto AVICENE un avión con instrumentación rastreó el penacho de Atenas moviéndose en dirección sur hacia la costa Libia bajo la influencia de fuertes vientos Aetsianos (Kallos,1995). De una manera similar a los vientos en Tarifa, estos son generados por la ventilación del Mar Negro a lo largo de los estrechos de Bósforo y Los Dardanelos. Este proceso también parece ser una combinación de canalizaciones a lo largo del Bósforo, reforzado durante el día por la subsidencia compensatoria de la baja térmica de Anatolia sobre el Mar Negro.

MECANISMOS DE INYECCIÓN DE LA MEDIA A LA ALTA TROPOSFERA EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA.

La Figura 6 muestra un esquema de las circulaciones propuestas para toda la Cuenca Mediterránea en verano, basado en las evidencias disponibles y en los procesos postulados. Pueden ser considerados los siguientes mecanismos:

Estratos de Depósito-Transporte en la Inferior-Media Troposfera (hasta → 2.5-3 km).

Son producidos por procesos de conducción térmica tierra-mar, y sus flujos de retorno. Estos procesos se ven favorecidos por la existencia de montañas costeras con las vertientes orientadas al Este y al Sur, las cuales actúan como chimeneas orográficas. Durante el día el sistema de estratos recircula sobre las áreas costeras con tiempos de retorno del orden de 2 a 3 días. Durante la noche los estratos viajan a lo largo de la costa desacoplados de la superficie hasta el día siguiente. Tales procesos se ven favorecidos a lo largo de las costas Este y Sur de España, las costas de Italia, las costas Sur de Turquía y las costas Libanesas e Israelíes, pudiendo desarrollarse también sobre la costa Noroeste de África.

Inyección directa Media Troposfera (hasta → 5 Km).

Puede resultar como efecto de las circulaciones de origen convectivo que se desarrollan durante el día sobre las zonas extensas de tierra seca y/o de la inyección orográfica (como ocurre en las vertientes Sur de las cadenas montañosas más altas, por encima de los 3.000 metros). Este efecto puede ser más importante sobre las vertientes más secas al final del verano, hasta el punto de provocar el disparo de tormentas. Si hay condensación, la química heterogénea comienza a ser importante. Las capas estratificadas se trasladan con el flujo sinóptico a su altura, principalmente durante la noche. Es probable la subsidencia a gran escala si derivan al Mar Mediterráneo. Estos procesos están favorecidos en los Alpes, a lo largo de los Apeninos y sobre las mesetas Española y Turca. Podría también producirse sobre las montañas del Atlas, y sobre las regiones costeras y del interior de la costa Africana.

Inyección directa Alta Troposfera-Baja Estratosfera (hasta → 10-14 Km).

Podría producirse como resultado de un bombeo convectivo, con desarrollo de cúmulos antes del anochecer (si se desarrollan tormentas con precipitación algunos contaminantes pueden ser eliminados por lavado). En cualquier caso, la química heterogénea será importante en estos procesos. La fracción inyectada se moverá con el flujo superior. En algunas áreas el desarrollo de tormentas al atardecer puede ser la fase final de un ciclo de brisa marina y/o de un sistema de viento anabático, por ejemplo, en el caso de los montes Apeninos en Italia Central, y pueden ocurrir casi todos los días. También tienden a estar ligadas a características específicas del terreno. En el caso de las montañas del Atlas y en el interior de Egipto y Libia, las brisas marinas, ayudadas por las condiciones sinópticas globales, pueden fluir hacia la Zona de Convergencia Inter Tropical y bombear los contaminantes envejecidos directamente a la troposfera superior.

AGRADECIMIENTOS

EL trabajo presentado ha sido financiado por la Comisión de las Comunidades Europeas, en el marco de los proyectos de investigación EV4V-0097-E (A), STEP-0006-C y EV5V-CT91-0050 (L). Igualmente contribuyeron financieramente al desarrollo de los trabajos la Generalitat Valenciana, la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) del Ministerio de Educación y Ciencia, el Gobierno Vasco, ENRESA y BANCAIXA.

BIBLIOGRAFIA

- Cantú V., P. Gandino (1977) *Rivista di Meteorologia Aeronautica* XXXVII-N^o 3, 265-267.
- Fishman, J., C. E. Watson, J. C. Larsen, J. A. Logan (1990) The distribution of tropospheric ozone determined from satellite data, *J. Geophys. Res.*, 95, 3599-3629.
- Gangoiti, G., (1993) Personal communication, Unpublished poster presented at the 20th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications. Valencia (Spain) Nov. 29-Dec.3.
- Kallos, G., (1995) Transport and Transformation of Air Pollutants from Europe to the East Mediterranean Region, *Progress Report, Contract AVI-CT92-0005*, European Commission, Environmental Research Programme Avicene, EC-DG XII, Rue de la Loi, 200, B-1040, Brussels.
- Lalas, D. P., D. N. Asimakopoulos, D. G. Deligiorgi, C. G. Helmis (1983) Sea-breeze circulation and photochemical pollution in Athens, Greece, *Atmos. Environ.*, 17, 1621-1632.
- Martín, M., J. Plaza, M. D. Andrés, J. C. Bezares, M. M. Millán (1991) Comparative study of seasonal air pollutant behaviour in a Mediterranean coastal site: Castellón (Spain), *Atmos. Environ.*, 25A, 1523-1532.
- Millán, M. M., B. Artíñano, L. A. Alonso, M. Castro, R. Fernandez-Patier, J. Goberna (1992) Meso-meteorological Cycles of Air Pollution in the Iberian Peninsula, (MECAPIP), *Air Pollution Research Report 44, (EUR N^o 14834)*, European Commission DG XII/E-1, Rue de la Loi, 200, B-1040, Brussels.
- Millán, M. M., B. Artíñano, L. A. Alonso, M. Navazo, M. Castro (1991) The effect of meso-scale flows on the regional and long-range atmospheric transport in the western Mediterranean area, *Atmos. Environ.*, 25A, 949-963, 1991.
- Millán, M. M., E. Otamendi, L. A. Alonso, I. Ureta (1987) Experimental characterization of atmospheric diffusion in complex terrain with land-sea interaction, Paper 84-81.4, Proc. Annual Meeting Air Pollution Control Association, Pittsburgh, PA., 1984, Published in *JAPCA*, 37, 807-811.

Millán, M. M., L. A. Alonso, J. A. Legarreta, M. V. Albizu, I. Ureta, C. Egusquiaguirre (1984) A fumigation episode in an industrialized estuary: Bilbao, November 1981, *Atmos. Environ.*, 18, 563-572.

Millán, M. M., R. Salvador, E. Mantilla, B. Artíñano (1996) Meteorology and photochemical air pollution in Southern Europe: experimental results from EC research projects, *Atmos. Environ.*, 30, 1909-1924.

Pielke, R. A., W. R. Cotton, R. L. Walko, C. J. Tremback, W. A. Lyons, D. Grasso, M. E. Nicholls, M. D. Moran, D. A. Wesley, T. L. Lee, J. H. Copeland (1992) A comprehensive Meteorological Modelling System-RAMS, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 49, 69-91.

Sandroni, S., P. Bacci, G. Boffa, U. Pellegrini, A. Ventura (1994) Tropospheric ozone in the pre-alpine and alpine regions. Proceedings of the Sixth European Symposium "Physico-Chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants", Varese 18-22 October 1993, Report EUR 15609/1 EN, Luxembourg.

Scorer, R. S. (1952) Mountain-gap winds: a study of surface winds at Gibraltar. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 78(335), 53-61.

Weather in the Mediterranean (1962) Vol.1, General Meteorology, Air Ministry, Meteorological Office, H.M.S.O. Code No. 40-142-1-62, London, UK.

RELACION DE PIES DE FIGURA

Figura 1. Presión superficial promedio en verano para el continente europeo.

Figura 2. Sección vertical de la concentración de ozono obtenida mediante un avión instrumentado (proyecto MECAPIP). La proyección horizontal de la trayectoria en ambos cortes se presenta sobre el mapa adjunto. Se puede observar el desarrollo de la célula de brisa costera (en la vertiente levantina) y de la fuerte actividad convectiva sobre el interior mesetario.

Figura 3. Concentraciones promedio de ozono (24 h) en dos emplazamientos del interior (Morella 100 Km y Corachar 80 Km) en la costa levantina. La directiva europea de daños a la vegetación ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para promedios diarios) se excede de 6 a 7 meses al año, y por un factor de casi dos durante Junio y Julio.

Figura 4. Mapa de presión en superficie y simulación de las líneas de corriente cerca del suelo para el día 20 de Julio de 1989 a las 18:00 UTC. El flujo resultante está dominado por una serie de líneas de convergencia, dispuestas según una estructura casi cerrada, siguiendo las principales cadenas montañosas. El venteo del Mediterráneo hacia el Atlántico vía el estrecho de Gibraltar es débil este día.

Figura 5. Perfil vertical realizado con un avión instrumentado a la altura de las Islas Baleares, sobre el mar (proyecto RECAPMA). Se pueden observar parte de las capas de ozono inyectadas sobre la meseta central española el día anterior, a alturas entre los 2500 y 3500 m.

Figura 6. Mapa de la cuenca mediterránea mostrando un sumario esquemático de las circulaciones y procesos meteorológicos observados y postulados para toda la cuenca mediterránea durante el periodo estival.

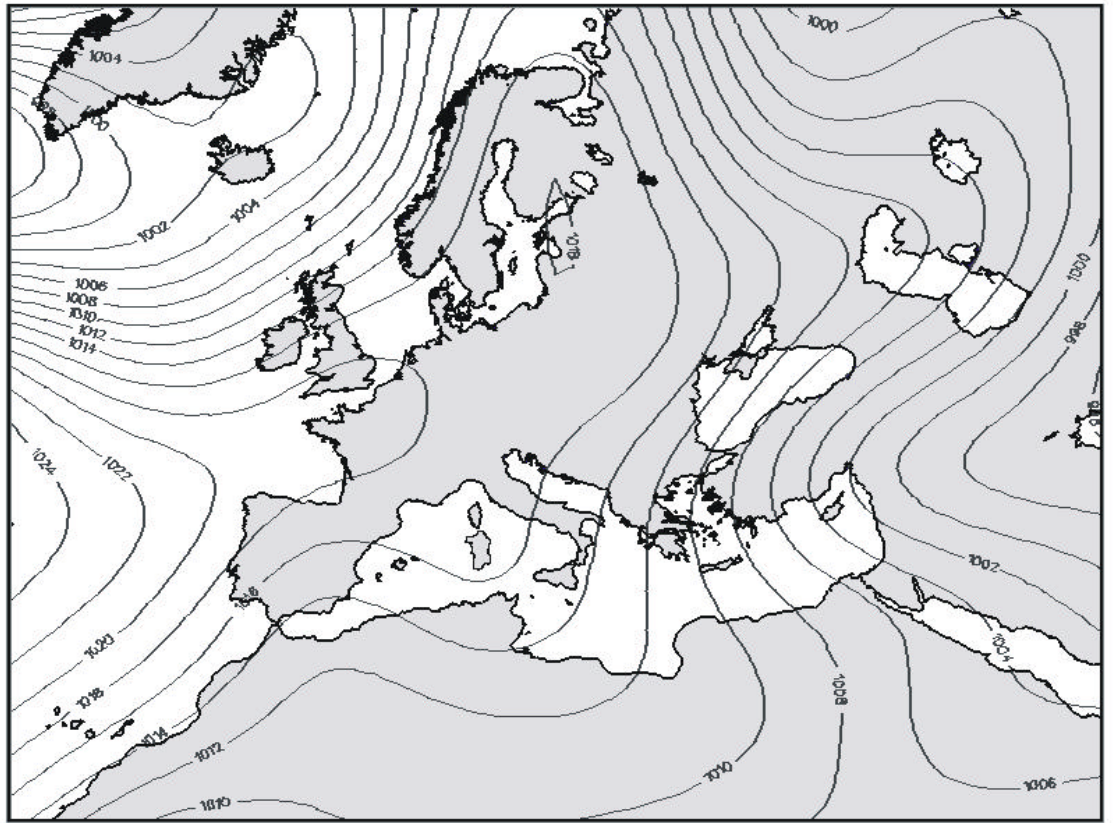


Figura 1. Presión superficial promedio en verano para el continente europeo.

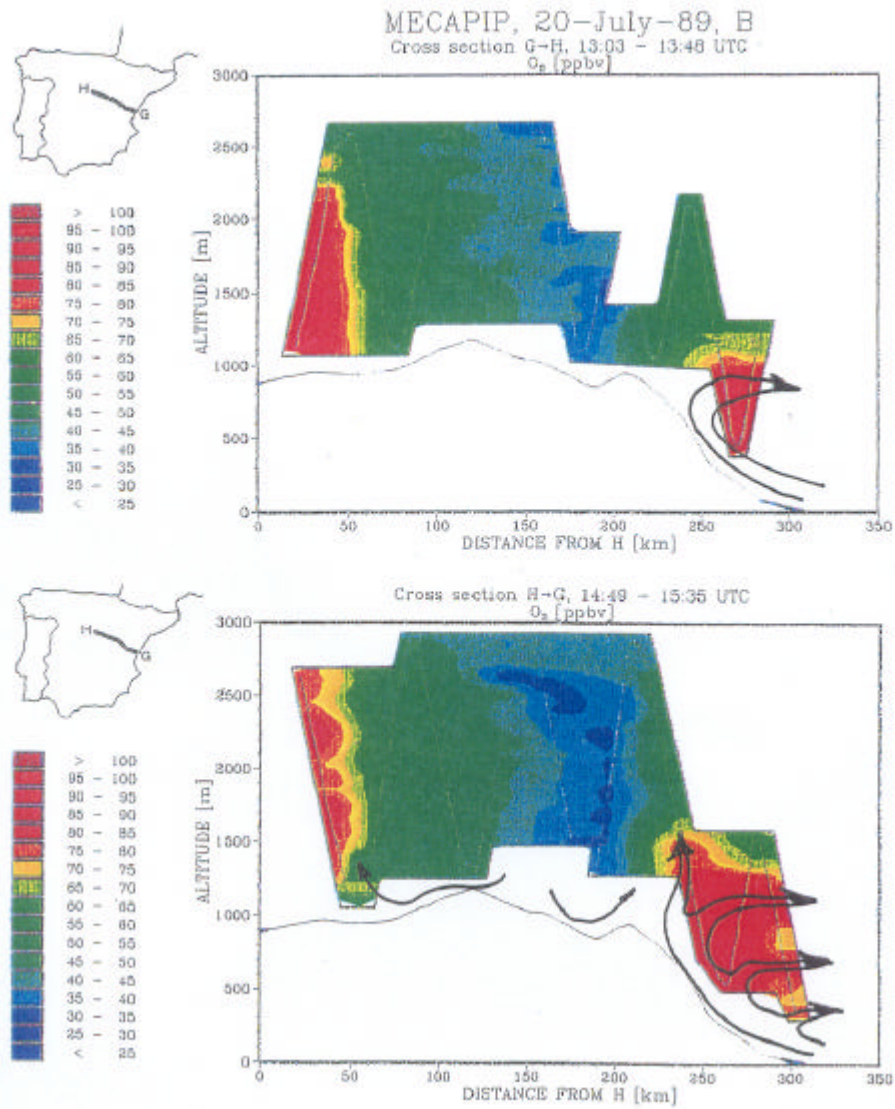


Figura 2. Sección vertical de la concentración de ozono obtenida mediante un avión instrumentado (proyecto MECAPIP). La proyección horizontal de la trayectoria en ambos cortes se presenta sobre el mapa adjunto. Se puede observar el desarrollo de la célula de brisa costera (en la vertiente levantina) y de la fuerte actividad convectiva sobre el interior mesetario.

DAILY O₃ MEAN VALUES

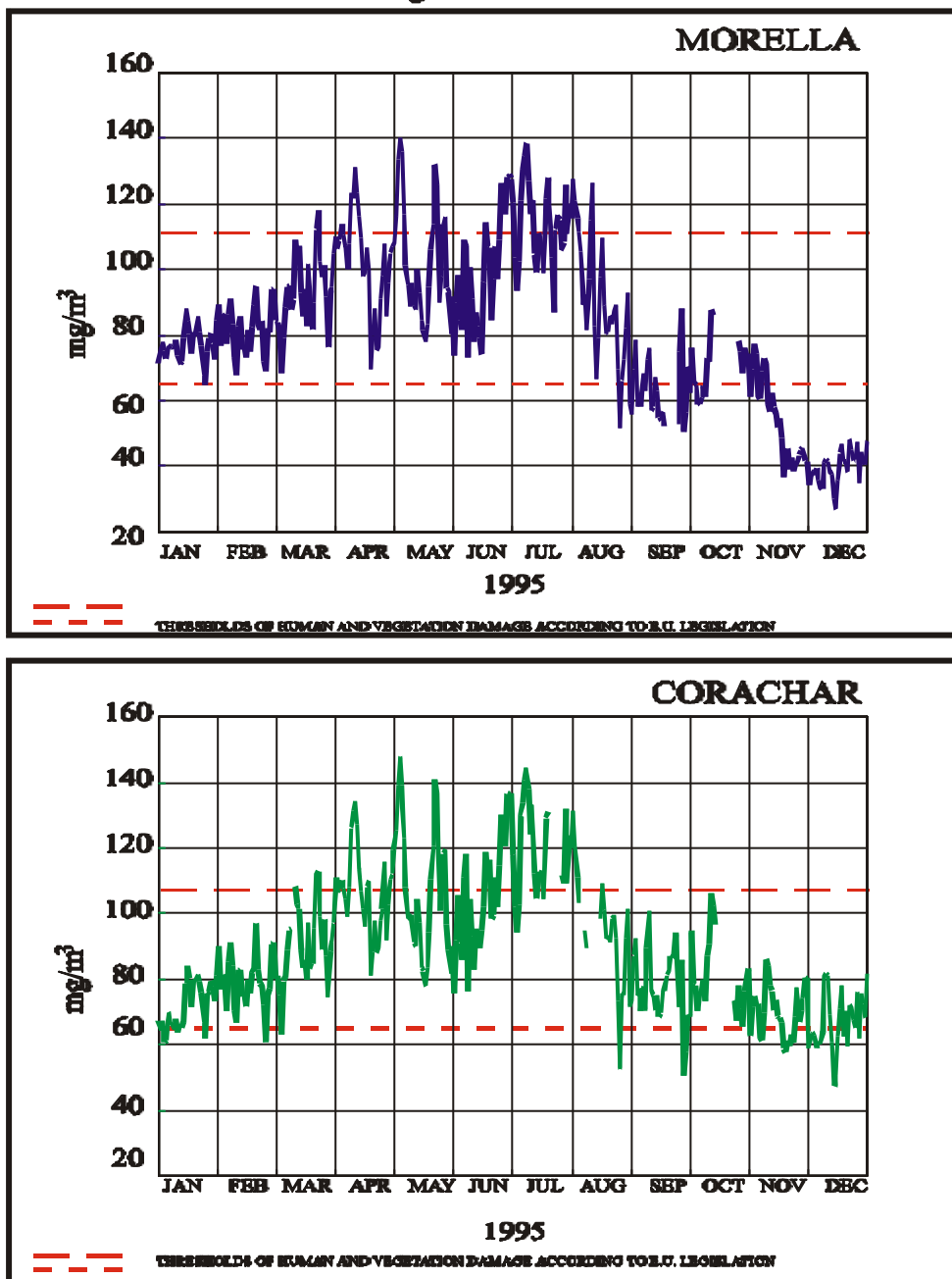
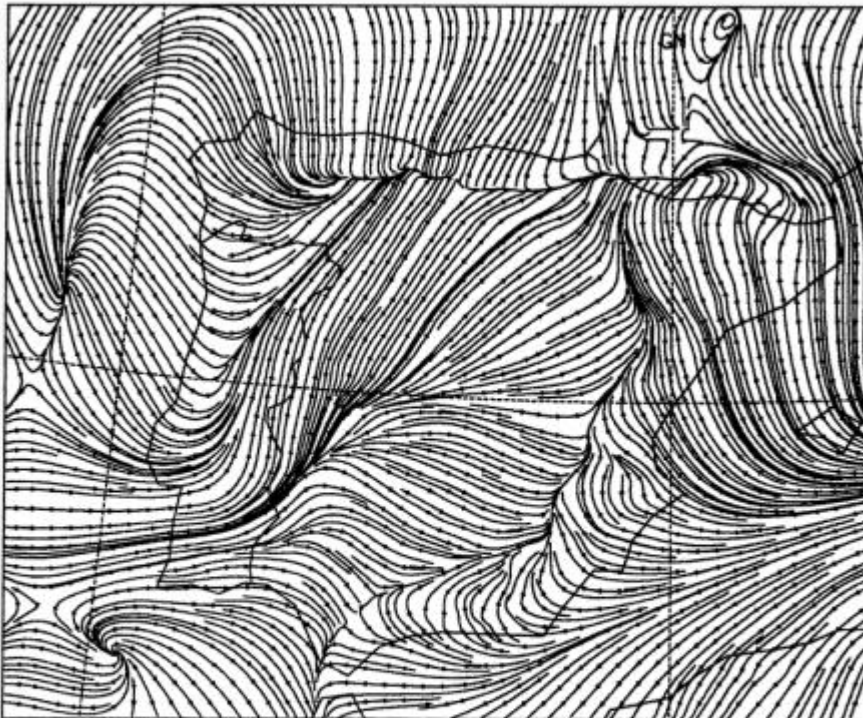
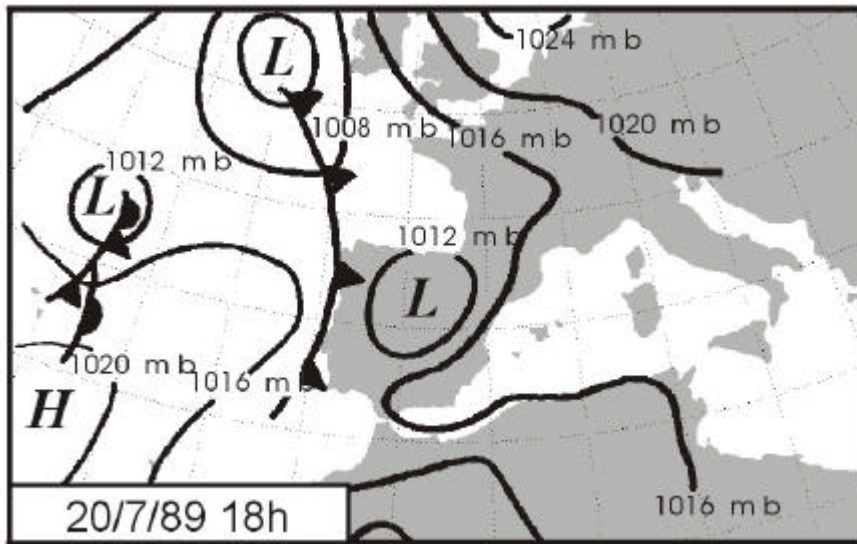


Figura 3. Concentraciones promedio de ozono (24 h) en dos emplazamientos del interior (Morella 100 Km y Corachar 80 Km) en la costa levantina. La directiva europea de daños a la vegetación (65 µg/m³ para promedios diarios) se excede de 6 a 7 meses al año, y por un factor de casi dos durante Junio y Julio.



z = 58. m t = 1800 UTC

Figura 4. Mapa de presión en superficie y simulación de las líneas de corriente cerca del suelo para el día 20 de Julio de 1989 a las 18:00 UTC. El flujo resultante está dominado por una serie de líneas de convergencia, dispuestas según una estructura casi cerrada, siguiendo las principales cadenas montañosas. El venteo del Mediterráneo hacia el Atlántico vía el estrecho de Gibraltar es débil este día.

Day 19/07/91 (16h19m - 16h39m). Point 3 (DESCENT).

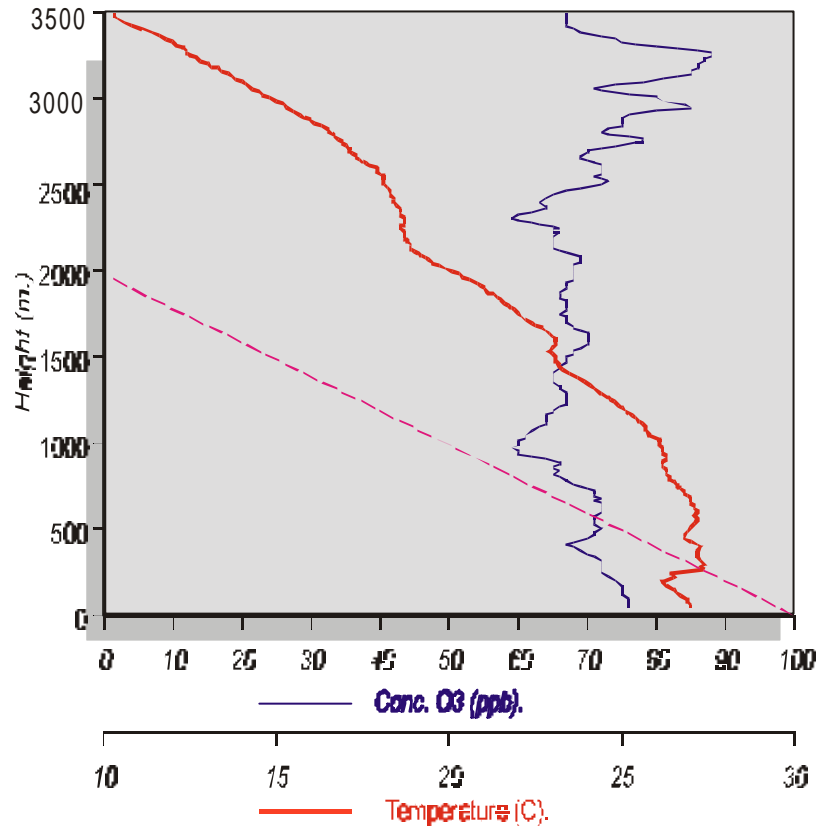


Figura 5. Perfil vertical realizado con un avión instrumentado a la altura de las Islas Baleares, sobre el mar (proyecto RECAPMA). Se pueden observar parte de las capas de ozono inyectadas sobre la meseta central española el día anterior, a alturas entre los 2500 y 3500 m.

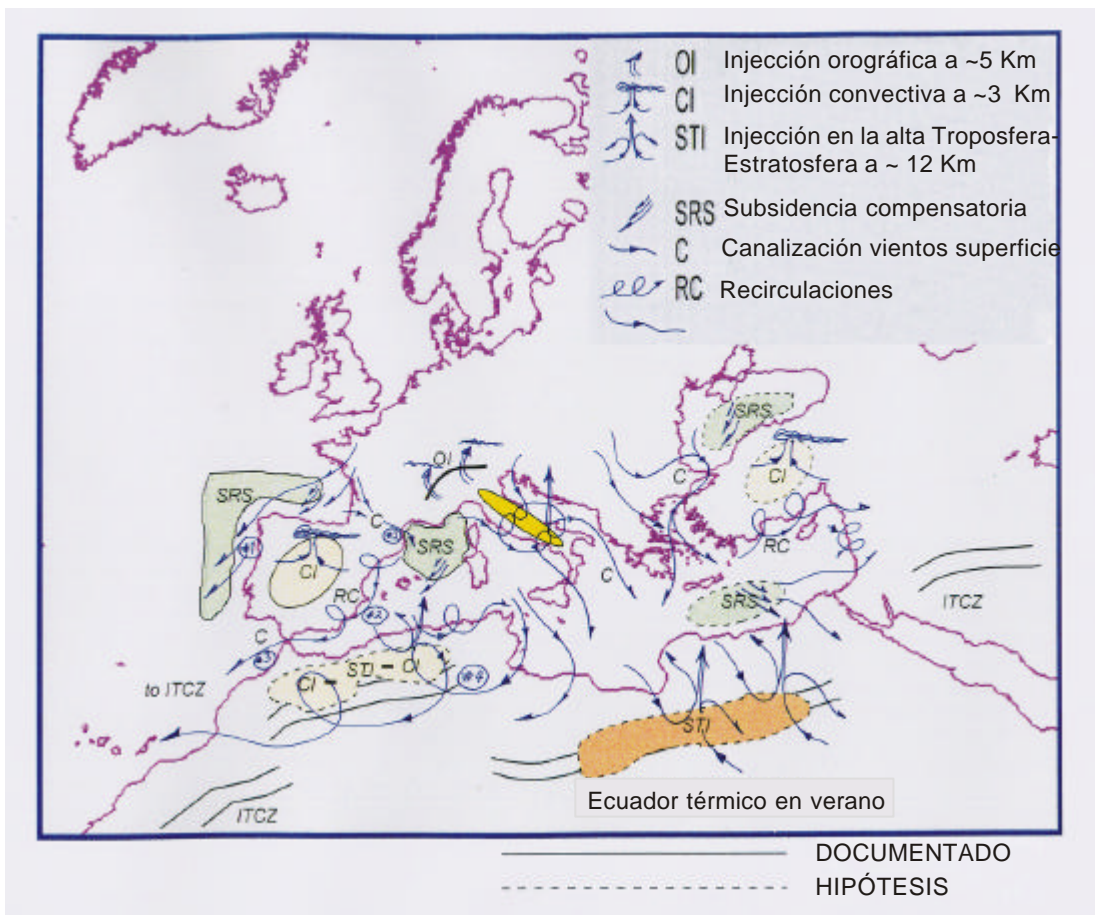


Figura 6. Mapa de la cuenca mediterránea mostrando un sumario esquemático de las circulaciones y procesos meteorológicos observados y postulados para toda la cuenca mediterránea durante el periodo estival.