

LIBRO JUBILAR
EN HOMENAJE AL PROFESOR
ANTONIO GIL OLCINA

EDICIÓN AMPLIADA

PUBLICACIONES
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

**LIBRO JUBILAR EN HOMENAJE
AL PROFESOR ANTONIO GIL OLCINA**

EDICIÓN AMPLIADA

**LIBRO JUBILAR
EN HOMENAJE AL PROFESOR
ANTONIO GIL OLCINA**

EDICIÓN AMPLIADA

INSTITUTO INTERUNIVERSITARIO DE GEOGRAFÍA
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Publicaciones de la Universidad de Alicante
03690 Sant Vicent del Raspeig
publicaciones@ua.es
<http://publicaciones.ua.es>
Teléfono: 965 903 480
Fax: 965 909 445

© los autores, 2016

© de la presente edición: Instituto Interuniversitario de Geografía y Universidad de Alicante

ISBN: 978-84-16724-09-3
DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/LibroHomenajeAntonioGilOlcina2016>

Coordinación:
Jorge Olcina Cantos y Antonio M. Rico Amorós

Edición, composición y diseño de cubiertas:
Clotilde Esclapez Selva



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional

Reservados todos los derechos. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

EL ESCENARIO ATMOSFÉRICO COMO MODELO DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LA VERTIENTE MEDITERRÁNEA DEL SISTEMA IBÉRICO

J. Quereda Sala
E. Montón Chiva
V. Quereda Vázquez
B. Mollá Cantavella

Laboratorio de Clima
Universitat Jaume I

1. INTRODUCCIÓN E IMPORTANCIA

El conocimiento del escenario atmosférico constituye uno de los fundamentos del análisis ambiental. Todo cuanto se pueda afirmar en lo concerniente a la calidad de aire y aguas estará expuesto a graves errores si no se parte de una rigurosa determinación del escenario atmosférico. No en balde es el medio en el que se inyectan, transforman, difunden y precipitan los contaminantes atmosféricos. Procesos que se acusan especialmente en los episodios de lluvia ácida, sobrevenidos a medida que las emisiones de SO_2 , y NO_x interaccionan en la atmósfera con el agua, el oxígeno y otras especies químicas para formar compuestos ácidos. Una acidificación que desde la atmósfera pasa a los suelos y que, en consecuencia, puede explicar los daños fitotóxicos que se han observado en determinadas masas forestales.

Todo ello adquiere una especial significación en una región de tan complicada orografía como la vertiente mediterránea del Sistema Ibérico y donde entre 1979 y 1980 entraba en operatividad la C.T. de ENDESA en Andorra (Teruel), con una potencia total instalada de 1,05 Gw (Figura 1). El principal combustible de la central térmica viene constituido por los lignitos negros y hullas bituminosas de la propia localidad de Andorra y zonas próximas, con un contenido de azufre del 7%. Actualmente, los procesos de desulfuración consiguen eliminar más del 90% del SO_2 contenido antes de la desulfuración.

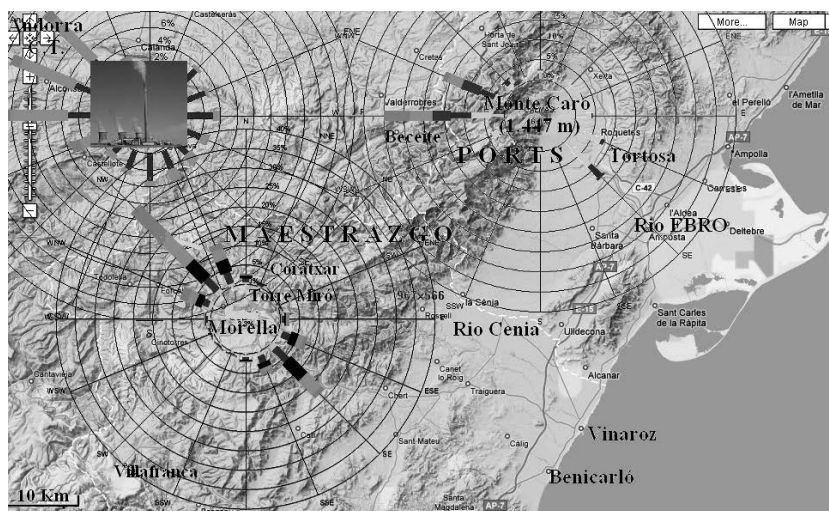


Figura 1. Zona de análisis del Maestrazgo y de la reserva natural de Els Ports de Tortosa, con las rosas de vientos del monte Caro, 1.447 m, Torre Miró (1.259 m) (Red meteorológica de la Universitat Jaume I) y C.T. de Andorra (685 m). La rosa de vientos del Caro es expresiva de su ubicación en el nivel más frecuente de la capa de inversión sobre la cual el viento es geostrofico.

La instalación en el año 2000 de la planta de desulfuración de gases de combustión de la Central Térmica de Teruel supuso un importante reto tecnológico dados los condicionantes de su diseño para el alto contenido en azufre de los carbones locales. El gran caudal de gases de la central producidos durante la combustión así como la elevada concentración en SO_2 hacían de la nueva planta de desulfuración una de las mayores del mundo en términos de capacidad de retención específica para la cual no existían precedentes. Así pues, la dificultad técnica del proyecto y la falta de referencias adecuadas obligó a que tanto las instalaciones como el proceso fueran optimizados a lo largo de los años.

Uno de los principales problemas a los que se enfrentó ENDESA durante los primeros años de funcionamiento de la planta fue la necesidad de continuas paradas de los grupos ya fuera por averías y obstrucciones o bien por simples actividades de limpieza. La parada de uno o varios grupos de desulfuración durante días o meses suponía un notable descenso del rendimiento de la planta.

En el año 2007 se llevó a cabo a reforma de los tres absorbedores de la planta de desulfuración, mediante la instalación de una séptima bomba en el sistema de recirculación se mejoró notablemente el rendimiento del proceso. Además la reforma incluyó el montaje del doble de sprays y la optimización del proceso de reposición de lechada “limpia” que se hizo más constante. Por otra parte se realizó el revestimiento de las paredes internas del absorbedor con Hastelloy, un material aleado de níquel muy

resistente a la corrosión producida por el azufre, así como la sustitución de todo el sistema de recirculación y de los aspectos comunes a los tres edificios de desulfuración. De este manera se consiguió prolongar la vida útil de todo el mecanismo reduciendo el número de paradas y agilizando las actividades de limpieza de los equipos. Como se puede apreciar en la gráfica (Figura 2), esta nueva reforma consiguió resultados óptimos en la mejora del rendimiento de la planta de desulfuración de gases reduciendo extraordinariamente las emisiones específicas de SO_2 a la atmósfera.

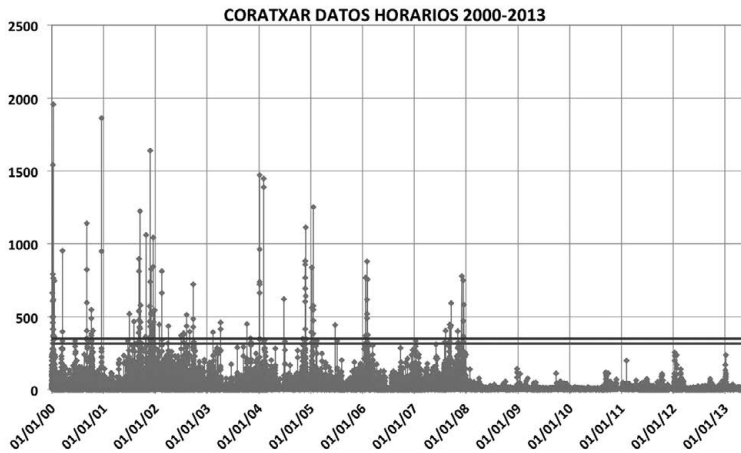


Figura 2. Inmisión de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación de Coratxar, (Tinença de Benifassà), (Red de Vigilancia Atmosférica de la Comunidad Valenciana, 2000-2013). Las líneas horizontales representan el umbral de riesgo al 90 y 100% de ese umbral. (Directiva 96/62/CE, Directiva 1999/30/CE, R. D. 1073/2002 y R. D. 1796/2003).

2. LA BUENA ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA DE LA CAPA GEOGRÁFICA EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO: UNA ESTRUCTURA TÉRMICA VERTICAL FAVORABLE A LAS INMISIONES DE CONTAMINANTES

Frente a las situaciones de inestabilidad o neutras, predominantes en una gran parte de los países de la zona templada (Millán y Sanz, 1992), la región litoral mediterránea viene caracterizada por el predominio de situaciones de estabilidad atmosférica. Esta estabilidad, más o menos absoluta, corresponde a un tipo de tiempo con estratificación estable y carencia o gran limitación de movimientos ascendentes en la atmósfera. De este modo, partículas y contaminantes aparecen contenidos y más o menos estratificados en la capa geográfica o de fricción. Capa inferior de la troposfera conteniendo un fluido que ha estado en contacto reciente con la superficie terrestre y que ha pasado a las capas superiores por difusión turbulenta y generalmente en un tiempo inferior a un día (San José *et al.*, 1984).

La mayor dificultad para definir esta capa geográfica reside en el establecimiento de su límite superior. Este límite es sin duda la primera capa de inversión térmica regional. No obstante, es un límite variable ya que esta capa de inversión suele tener frecuentes oscilaciones de altura según el tipo de tiempo y estación. Los análisis regionales muestran que suele presentarse a alturas entre los 820 y 880 milibares, es decir entre 1,3 y 1,5 Km de altura. Asimismo, la configuración de la curva media de estado muestra, especialmente en invierno, la existencia de una capa de inversión baja regional a 950 hPa (0,5 Km) (Figura 3).

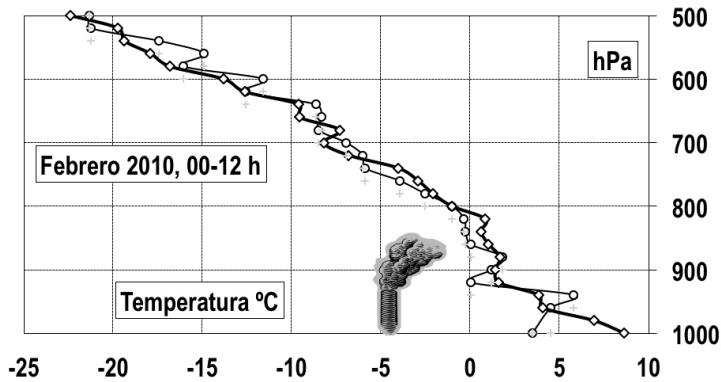


Figura 3. Promedios de los radiosondeos de Zaragoza-Aeropuerto (AEMET), mes de febrero de 2010 a 00 y 12 horas. La capa de inversión se acusa *notablemente* sobre los 900 hPa. La estabilidad es absoluta hasta los 800 hPa. La curva de 00 horas permite apreciar la formación de una capa de inversión baja.

En estas condiciones, la flotabilidad y convección de cualquier contaminante queda detenida por esas capas de inversión que actúan como una tapadera frente a la difusión exterior (Figura 4).



Figura 4. Capa de inversión sobre la reserva natural de Tortosa-Beseit. Imagen tomada desde la cima del Monte Caro (1.447 m).

De este modo, para el caso de una atmósfera estable, como es la estructura más frecuente en la región, prescindiendo de la capa regional de inversión, la sobreelevación del penacho por tiro térmico y dinámico (ΔH), a través de la fórmula de Briggs, sería:

$$\Delta H = 2,4 \left(\frac{F}{U_{ch} \cdot S} \right)^{1/3}$$

Siendo:

$$F = g \cdot v_s \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \frac{T_s - T_a}{T_s}$$

$$U_{ch} = U_{10} \cdot \left(\frac{H_g}{10} \right)$$

$$S = \left(\frac{g}{T_a} \right) \cdot \left(0,01 + \frac{\Delta T}{\Delta z} \right)$$

Bajo los parámetros atmosféricos medios y estructurales de la región, viento (u), velocidad de salida de los gases (v_s), diámetro de la chimenea (D) y temperaturas de salida de gas y ambiente T_s y T_a , la sobreelevación del penacho (ΔH) en la zona de la C.T., alcanza alturas características de 300 a 400 metros. Ello supone que la dispersión del citado penacho podría ascender hasta la altura de esa primera capa de inversión regional situada a 875-850 hPa. De ahí que la oscilación de los valores de inmisión en el entorno regional, en ese marco de estabilidad, aparezca muy vinculada al espesor de la capa atmosférica de mezcla. Un valor clave de la expresión general de los modelos gaussianos de dispersión:

$$C(x,0,0,H_e) = \frac{G}{\pi \sigma_y \sigma_z u_h} \exp \left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2} \right)$$

Siendo:

C = Concentración de contaminante en el aire.

G = Caudal másico de emisión de contaminante.

U_h = Velocidad del viento.

H_e = Altura efectiva de la chimenea.

σ_y y σ_z = Parámetros de dispersión lateral y vertical del viento dependientes de la turbulencia y el espesor de la capa de mezcla.

La aplicación numérica de los modelos de dispersión gaussiana (Briggs y Holland) mediante el programa desarrollado por la EPA americana (Environmental Protection Agency), ha sido validada a través de los datos de inmisión registrados por la Red de Vigilancia Atmosférica de la Comunidad Valenciana (Estaciones de Coratxar y Morella). Así, los datos

correspondientes al máximo pico horario del año 2012, (13 de enero) con $254 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Coratxar, responden al modelo gaussiano de Briggs y Holland (Figuras 5 y 6). Un resultado altamente significativo del papel de los condicionantes atmosféricos.

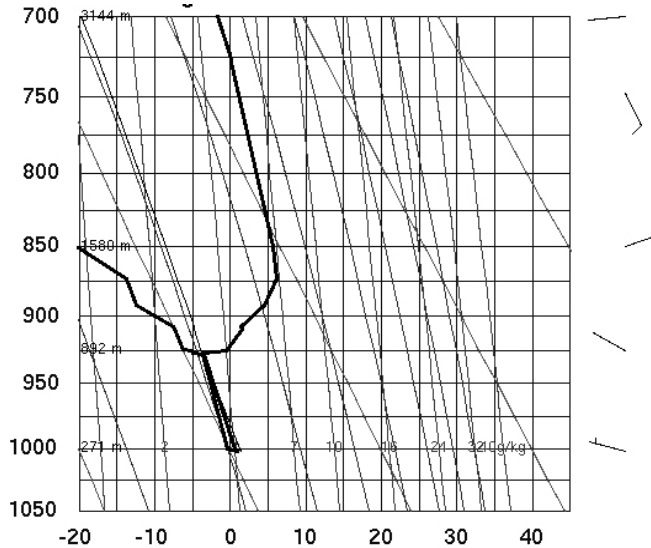


Figura 5. Radiosondeo de Zaragoza (13 de enero de 2012, 00 h). Notable capa de inversión entre 925 y 875 hPa, espesor de la capa de mezcla de 400 metros y con viento en calma $< 1\text{m/s}$.

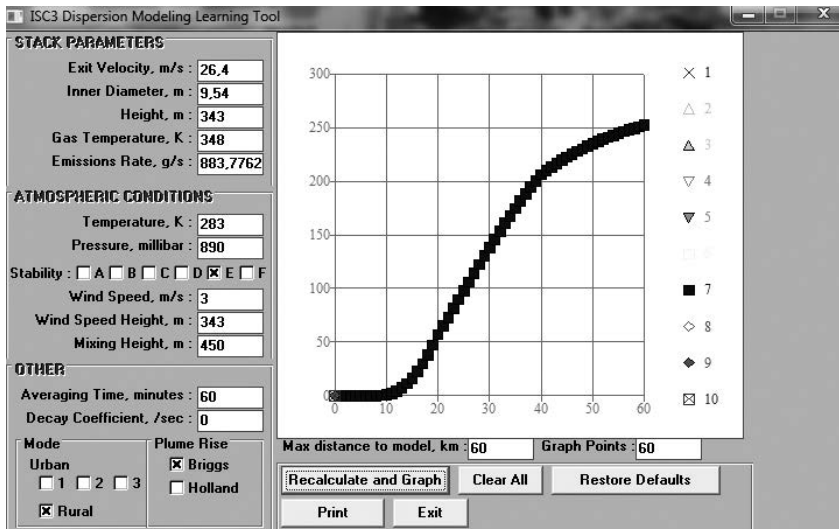


Figura 6. Difusión del penacho y concentraciones de SO_2 entre la C.T. y un horizonte de 60 km (13 de enero de 2012).

La misma aplicación, sobre el perfil atmosférico del día 6 de enero de 2012 (Figura 7), con capa de mezcla > de 700 metros y viento de 25 m/s, proporciona un valor teórico de inmisión de SO₂ de tan solo 8-10 µg/m³ (Figura 8), idéntico al registrado en las estaciones de Coratxar y Torre Miró (Red de Vigilancia Atmosférica de la Comunidad Valenciana). Ambas estaciones se ubican en el eje de los flujos aéreos predominantes.

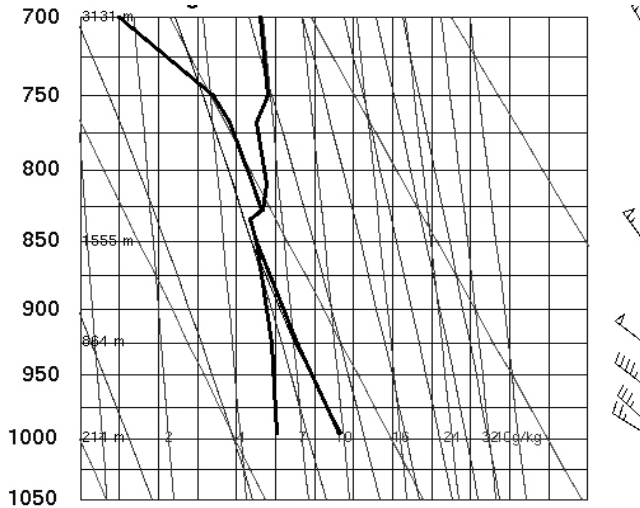


Figura 7. Radiosondeo de Zaragoza (6 de enero de 2012, 00 h. La capa de inversión aparece muy elevada (825 hPa), con vientos fuertes sobre los 25 m/s y una capa de mezcla > de 700 metros.

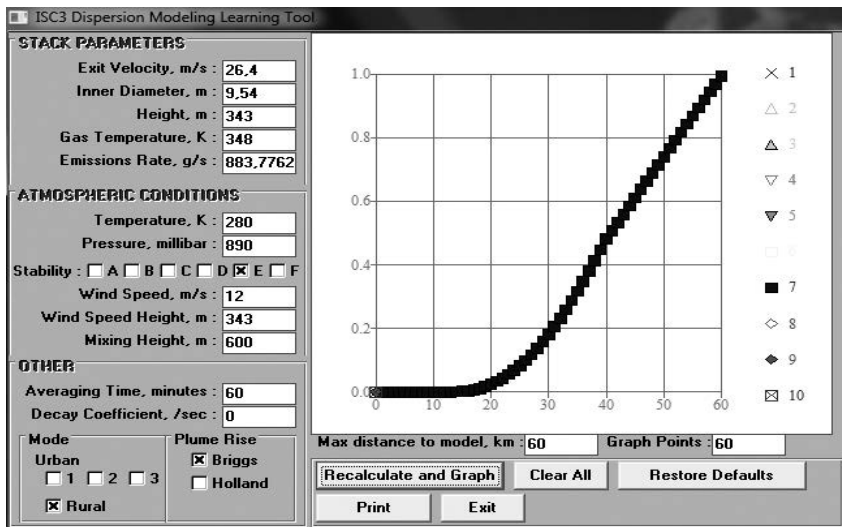


Figura 8. Difusión del penacho y concentraciones de SO₂ entre la C.T. y un horizonte de 60 Km (6 de enero de 2012).

3. SITUACIONES ATMOSFÉRICAS Y LLUVIA ÁCIDA

En el marco de estas estructuras atmosféricas de estabilidad, las precipitaciones de los contaminantes ácidos vienen vinculadas, por naturaleza del proceso, a situaciones de estabilidad condicionada. Estos procesos han sido estudiados, durante el período 2005-2012, mediante un analizador automático de pH en agua de lluvia (Kimoto, AR-106) (Figura 9), anualmente calibrado y controlado mediante medidas puntuales de campo y laboratorio.



Figura 9. Analizador de lluvia ácida instalado en Torre Miró (1.223 m), marca Kimoto, modelo AR-106.

La evolución global del pH del agua de lluvia en la región del Maestrazgo (Morella), a lo largo de los registros pluviométricos de los años 2005 a 2012, aparece reflejada en la figura 10. La curva muestra las oscilaciones del pH con respecto al valor medio de 5,5, umbral de acidez. Los análisis realizados entre 2005-2012, con más de mil cien medidas diezminutales, han dado un pH medio de 5,67 en Torre Miró (Morella). Este valor permite considerar que el pH medio de las aguas de lluvia no ha variado desde los años ochenta (AMBIO, 1992; Carratalá, 1992). Los valores de pH del agua de lluvia medidos en los escasos estudios realizados son, en su mayor parte, superiores a 5.4, por lo que en general no puede hablarse de 'lluvia ácida', a pesar de registros ocasionales de pH inferiores a 5 (Castell de Cabres, Cincorres, Más de Donís, Torre Miró, Fredes).

Sin embargo el valor medio de pH en el agua de lluvia, 5,67 y los valores de conductividad, no parecen responder a las graves imputaciones de acidificación que se han realizado y que cabría esperar en el entorno de una C.T. No obstante la serie obtenida, sobre los registros pluviométricos de los años 2005 a 2012, muestra episodios de fuerte acidificación frente a otros de naturaleza básica o alcalina. Unas oscilaciones que vienen explicadas por los distintos escenarios climáticos en que se han producido.

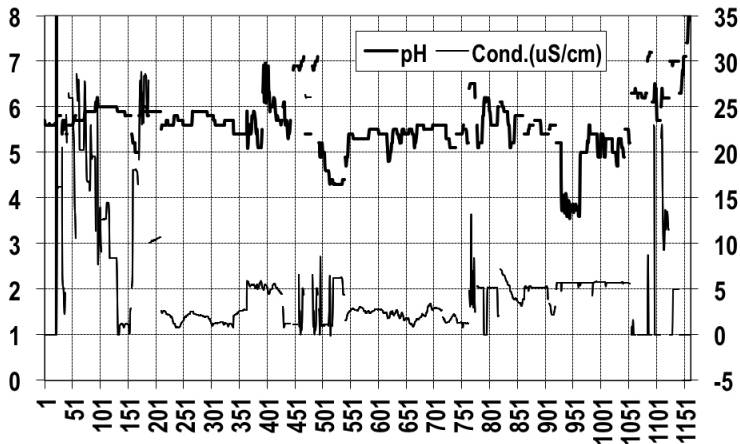


Figura 10. Valor del pH y conductividad en el agua de lluvia precipitada en Torre Miró, Morella (2005-2012). Los valores corresponden a promedios diezminutales en cada episodio de lluvia con más de 10 registros.

3.1. Situaciones de fuerte acidificación

En este orden de escenarios, la situación atmosférica más característica de estas lluvias ácidas ($\text{pH} < 5,5$) viene asociada principalmente a la convergencia de dos factores. El primero es la existencia de una capa de inversión situada entre 2 y 2,5 Km, sobre el límite de sobre elevación del penacho de la C.T. Una capa que detiene la convección y elevación de las emisiones contaminantes. El segundo factor es de naturaleza advectiva, con la afluencia sobre el Maestrazgo y els Ports de vientos que operan un transporte transfronterizo de las intensas emisiones de contaminantes generadas en las grandes centrales térmicas mediterráneas de Italia y Francia (Piombino y Fos Berre).

Ejemplo de los casos más intensos, con valores analizados de pH de 4,5 (Figura 11), es el acontecido en la situación correspondiente a los primeros días del mes de enero de 2006. Los vientos constantes del NE y NNE aportan los contaminantes transfronterizos sobre la zona (Figura 12). Estos contaminantes son atrapados bajo la capa de inversión situada a 2.000 metros (Figura 13).

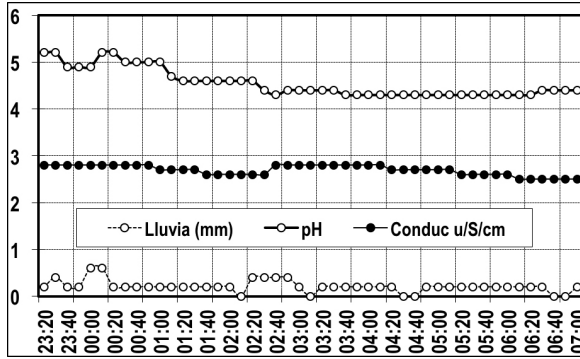


Figura 11. Análisis del agua de lluvia precipitada durante los días 4 y 5 de enero de 2006.

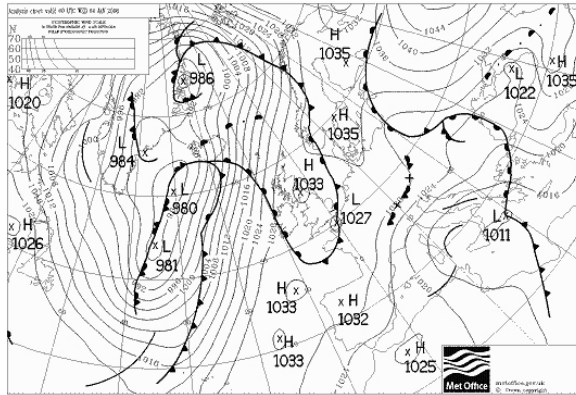


Figura 12. Situación en superficie el día 4 de enero de 2006. Una acusada depresión sobre el Mediterráneo central envía vientos hacia la región mediterránea española. El potente anticiclón continental bloquea los vientos del NE que aportan las emisiones de las centrales térmicas que bordean el arco alpino entre Piombino y la propia C.T. de Andorra.

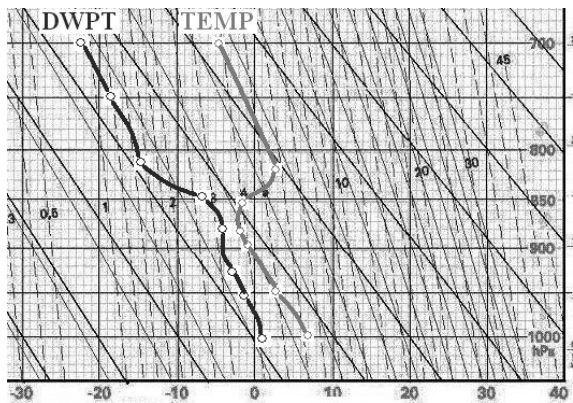


Figura 13. Sondeo de Zaragoza el día 4 de enero de 2006 a 00 horas. La estabilidad condicionada, en la capa geográfica, se une a una inversión térmica próxima a 2.000 m.

Característicamente, todos los registros de significativa lluvia ácida han correspondido a esta situación atmosférica de estabilidad condicionada con capa de inversión situada entre 2 y 3 Km. La estructura atmosférica del día 14 de febrero de 2008 es bien expresiva (Figura 14). Esta situación ha representado el episodio de mayor acidificación de los acontecidos desde 2005 (Figura 15). La configuración atmosférica de acusada inversión general, a 725-700 hPa, es ventilada por vientos constantes del E sobre los 850 hPa. Estos vientos constituyeron el flujo advector de las grandes emisiones de contaminación atmosférica procedentes de los mayores complejos europeos con centrales térmicas en Italia y Francia, además de la C.T. de Andorra. Un flujo transfronterizo que, junto a la aportación local, contribuyó a intensificar los procesos de acidificación sobre el Maestrazgo (Figura 16).

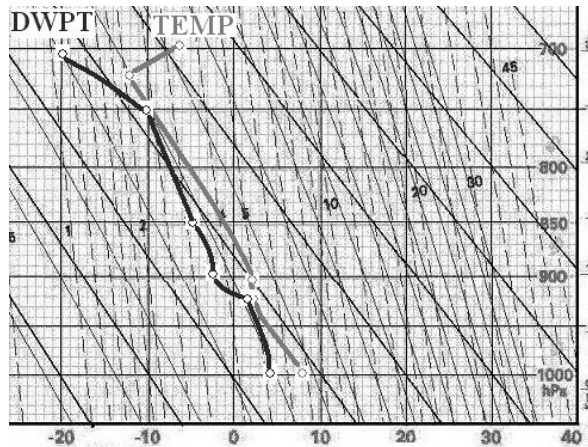


Figura 14. Sondeo de Zaragoza el día 14 de febrero de 2008 a 00 horas. La estabilidad condicionada, en la capa geográfica, se une a una inversión térmica próxima a 3.000 m.

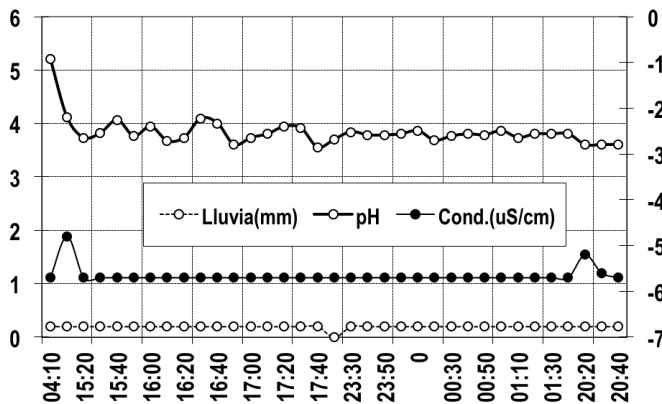


Figura 15. Registros de pH y conductividad en las jornadas de los días 13-15 de febrero de 2008. La acidificación de las precipitaciones muestra valores intensos.

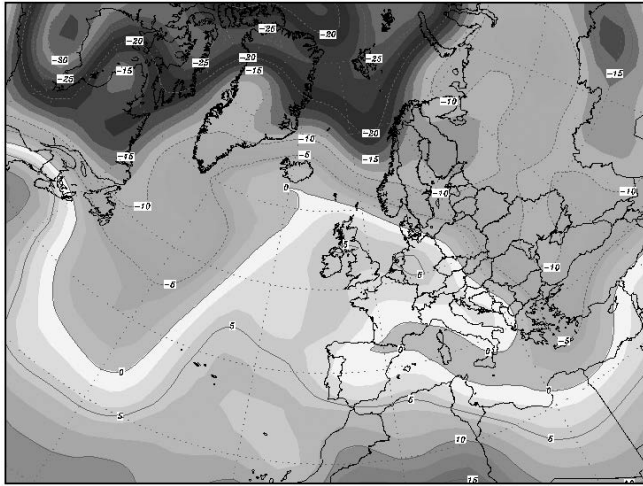


Figura 16. Situación atmosférica a 850 hPa el día 14 de febrero de 2008 (Reanálisis, NCEP, Wetterzentrale). Nítida advección de aire frío en altura, nivel de 850 hPa.

Esa misma irrupción de aire frío, advectora de emisiones contaminantes, determinó igualmente las condiciones termohigrométricas favorables a la precipitación ácida. La temperatura de rocío (T_d) se mantuvo por encima de la temperatura media del aire durante los días 13 a 15 de febrero. Una niebla persistente cubrió las cimas del Maestrat y en su interior se produjeron las reacciones acidificantes (Figura 17).

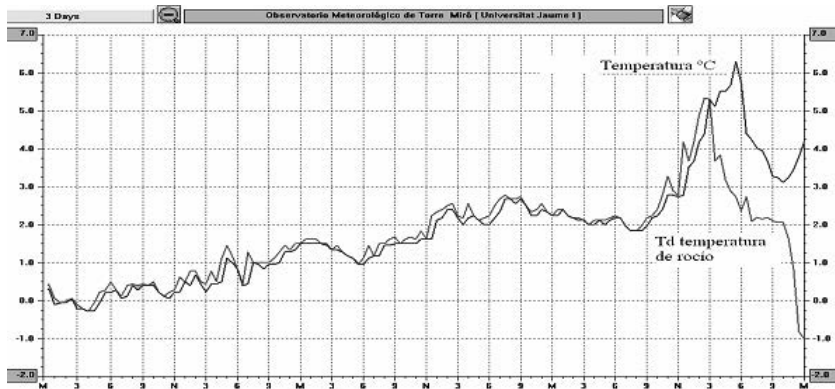


Figura 17. Evolución térmica y del punto de rocío (T_d) en la estación meteorológica universitaria de Torre Miró (1.260 m) los días 13 a 15 de febrero de 2008.

3.2. Situaciones de neutralización de la lluvia ácida

Se operan bajo condiciones atmosféricas en que la advección aérea comporta la extensión de aerosoles africanos sobre el ámbito regional.

Consecuentemente hemos de destacar que el valor promedio regional del pH, 6,67, podría ser bastante inferior si no tuviésemos en cuenta un factor de gran importancia en el enmascaramiento o neutralización de la lluvia ácida. Este factor es la constante presencia, especialmente en verano, de aerosoles de procedencia africana cubriendo gran parte de la Cuenca Occidental del Mediterráneo. Estos aerosoles son, junto a la naturaleza básica del ecosistema local, los responsables de los picos de pH superiores a 6. El análisis químico de grandes episodios de lluvia de tierra ha dado los siguientes resultados (Quereda, *et al.*, 1996).

pH	7,86
Calcio	21,20 ppm
Magnesio	0,60 ppm
Sodio	3,30 ppm
Potasio	6,10 ppm

Tabla 1. Análisis químico del agua de lluvia de tierra.

El mejor exponente de estos procesos atmosféricos viene configurado por alguno de los episodios más recientes que hemos registrado. El primero corresponde al desarrollado entre los días 19, 23 y 24 de mayo de 2007. La situación atmosférica determinante de las precipitaciones fue una “gota fría”, (DANA), sobre la vertical del golfo de Cádiz (Figura 18), presionando sobre la masa de aire subtropical continental.

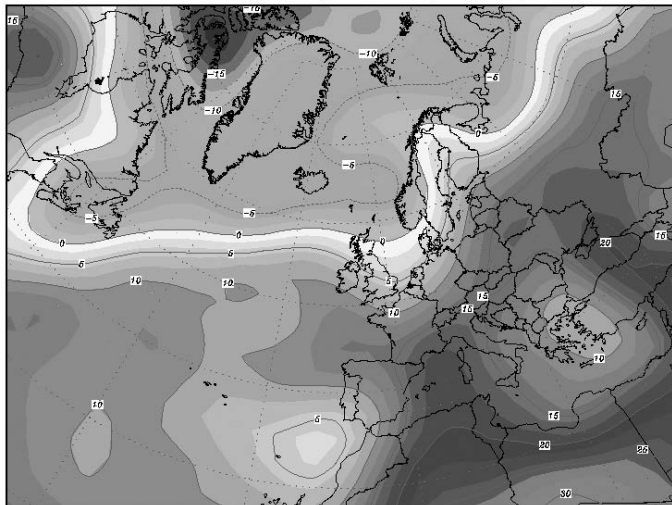


Figura 18. Situación atmosférica el día 23 de mayo de 2007 (Wetterzentrale, NCEP). Aerosol africano sobre la cuenca occidental del Mediterráneo y DANA sobre el golfo de Cádiz (Wetterzentrale, NCEP).

Los valores de pH registrados a comienzos de este episodio alcanzan un pico de $\text{pH} = 7$ (Figura 19). Al comienzo de la precipitación, son los momentos en los que la lluvia de barro es más intensa. A medida que la precipitación continúa, la atmósfera es lavada y el pH vuelve a los valores normales de 5,5-6. Todo ello bajo unas condiciones atmosféricas que ya anticipan el modelo estival con gran persistencia de esta cobertura de polvo africano (Figura 20).

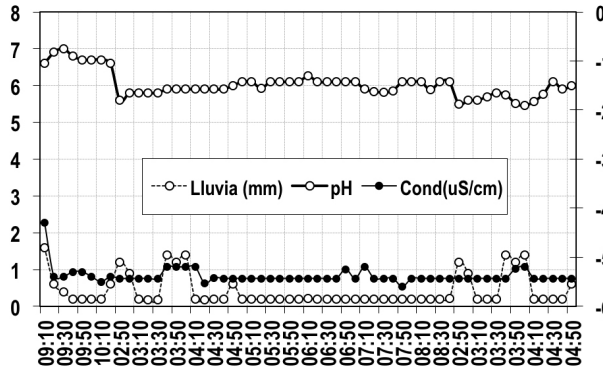


Figura 19. Análisis del agua de lluvia precipitada en Torre Miró durante los días 19, 23 y 24 de mayo de 2007.

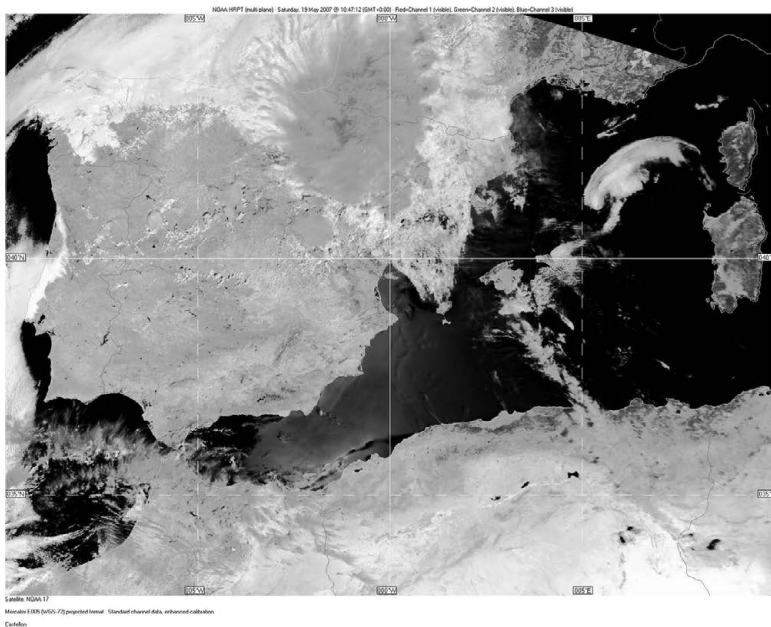


Figura 20. Imagen NOAA-AVHRR, VIS, correspondiente al día 23 de mayo de 2007. El aerosol africano desborda sobre la región mediterránea española a través del mar de Alborán. Laboratorio de Clima, Universitat Jaume I.

Una situación que, paradigmáticamente, ha vuelto a caracterizar el período de chubascos intensos que correspondientes a la última semana de agosto de 2012 (Figura 21). La estructura atmosférica muestra la irrupción de un potente aerosol africano que desde el norte de África se ha extendido sobre toda la cuenca occidental del mediterráneo (Figura 22).

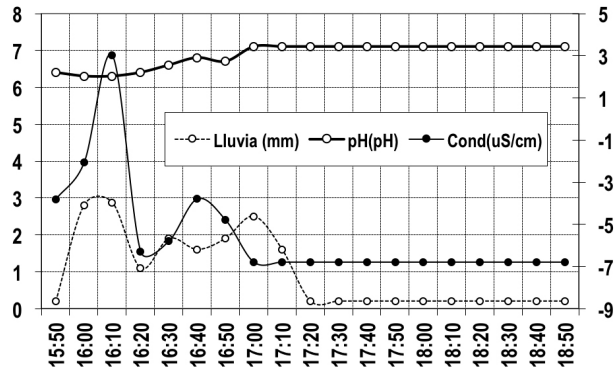


Figura 21. Registros de pH en la jornada del 28 de agosto de 2012. Los valores básicos de la lluvia se deben a la neutralización del aerosol africano.

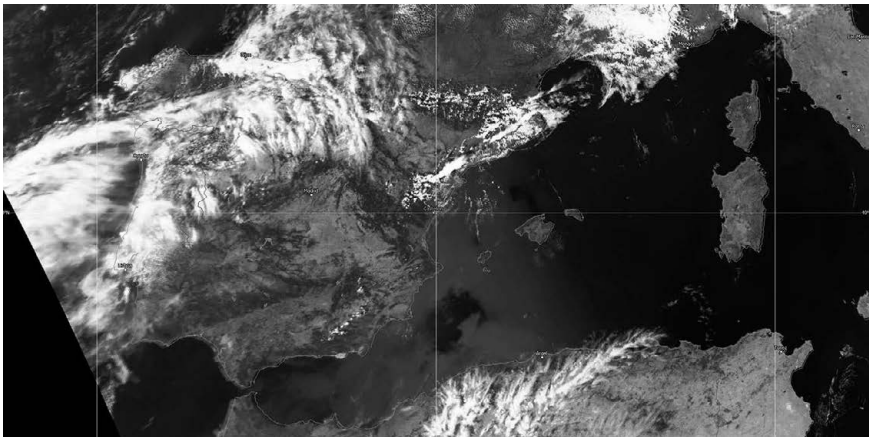


Figura 22. Imagen NOAA-AVHRR, VIS, correspondiente al día 28 de agosto de 2012. El aerosol africano desborda sobre la región mediterránea española a través del mar de Alborán. Laboratorio de Clima, Universitat Jaume I.

4. CONCLUSIONES

El territorio del Maestrazgo y de la reserva natural de Els Ports de Tortosa-Beseit, situados en la vertiente mediterránea del Sistema Ibérico, experimentan constantemente un flujo circulatorio del oeste que aporta, entre otras, las emisiones de contaminación procedentes de la C.T. de An-

dorra (Teruel). Esta emisión, junto a la detección de efectos fitotóxicos en las masas forestales en la zona ha determinado una alta vigilancia sobre la calidad del aire, así como la progresiva instalación de eficientes sistemas de desulfuración. En este orden de conocimientos se inserta el objetivo de este trabajo sobre el análisis de la contaminación y del pH en el agua de lluvia.

Esta eficiencia del actual sistema de desulfuración (Mitsubishi), sobre una regularidad en las emisiones de contaminación local, ha determinado que los impactos de la contaminación ambiental se mantengan en valores muy inferiores a los umbrales de riesgo establecidos en la actual normativa sobre control de las inmisiones. Simultáneamente ha sido posible constatar que las oscilaciones en los valores de inmisión de SO_2 y de pH registrados vienen explicadas por las distintas situaciones atmosféricas en cuyo seno se han gestado. Ello ha permitido establecer las situaciones atmosféricas características de la contaminación y de la lluvia ácida como factor clave de un modelo de gestión ambiental.

Las situaciones favorables al aumento de las inmisiones sobrevienen a medida que las emisiones contaminantes, presentes sobre la zona, son contenidas en los niveles bajos por una capa de inversión regional situada a nivel de 850 hPa. Inversión térmica determinante de una capa de mezcla menos espesa y turbulenta. Una situación acidificante con la advección de flujos aéreos que, bajo la capa de inversión, transportan las emisiones de los grandes complejos térmicos del mediterráneo italiano y francés. Precisamente, a medida que la advección aérea viene determinada por aerosol africano, los valores de acidez se neutralizan y el pH se torna alcalino.

REFERENCIAS

- AMBIO, S. A. (1992): *Análisis de los valores obtenidos en la red de inmisión del Maestrazgo desde su puesta en marcha (1984-1991)*, Memoria ENDESA, 58 págs.
- BARRENO, E. *et al.* (1993): *Seguimiento de la calidad atmosférica en las comarcas de Els Ports y Maestrazgo mediante bioindicadores vegetales (líquenes y biofitos)*. Grupo de Liquenología y Briología. Universitat de Valencia.
- BRIGGS, G.A. *et al.* (1982): *Handbook on atmospheric diffusion*. Technical Information Center U.S. Department of Energy. MA, US, 102 pp.
- BRIGGS, G.A. (1975): *Plume rise predictions*, Lectures on air pollution and environmental impact analysis. American Meteorological Society, Boston, U.S. pp. 59-111.
- CARRATALÁ, A. *et al.* (1992): "Composición química del agua de lluvia en la Comunidad Valenciana: resultados preliminares de una red para el control de la calidad ambiental". *Tecnología del Agua*, XII, 101, pp. 1-7.

- DIRECTIVA 96/62/CE, abriendo paso a las directivas específicas de los distintos contaminantes (Directiva 1999/30/CE) e incorporadas a R. D. 1073/2002 y a R. D. 1796/2003.
- I.C.O.N.A. (1988): "Resumen de las defoliaciones de los puntos de Castellón". M.A.P.A.
- I.C.O.N.A. (1991): "Información diversa de I.C.O.N.A. sobre la situación de las masas forestales de la Comarca de Els Ports (Castellón)". M.A.P.A.
- JOHNSON, A.H. y SICAMA, T.G. (1983): "Acid deposition and forest decline". *Environmental Science and Technology*, 17, pp. 294-305, A.
- KOMIN, G.E. (1981): "Ecological Essence of Forest Cyclic Dynamics". *Ecologiya* 3, pp. 46-53.
- MCMILLIN, C.W. (1982): "Application of Automatic Image Analysis to Wood Science". *Wood Science* 14 (3), pp. 97-115.
- MÉGIE, G. (1996): "Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère". *La Météorologie*, 8, 13, pp. 11-28.
- MILLÁN, M. et al. (1992): *Mesometeorological Cycles of Air Pollution in the Iberian Peninsula*. Commission of the European Communities. Directorate General for Science, Research and Development. Environment Research Programme, 219 págs.
- MILLÁN, M. y SANZ, M. J. (1993): "La contaminación atmosférica en la Comunidad Valenciana". Informes CEAM, 93, I, 151 pp.
- N.I.L.U. (Instituto Noruego de Investigación Atmosférica). (1986): "Power plant. Final report". (Traducido al castellano por la D.G. de Medio Ambiente).
- N.I.L.U. (1987): "Modelización del penacho de la Central Eléctrica de Andorra (Teruel)".
- QUEREDA, J. et al. (1994): *Análisis del estado de los bosques en Els Ports-Maestrazgo y de la influencia de la Central Térmica ubicada en Andorra (Teruel) en el deterioro de los mismos*, Universidad Jaume I, 60 págs.
- QUEREDA, J., OLCINA, J. y MONTON, E. (1996): "Red dust Rains within the Spanish Mediterranean Area". *Climatic Change*, 32, pp. 215-228, U. S.
- SAN JOSÉ, R. et al. (1984): *Torres meteorológicas y determinación de parámetros turbulentos*, Universidad de Valladolid, 87 págs.
- RED VALENCIANA de Vigilancia de la Contaminación atmosférica (GV). <http://www.cma.gva.es>