

LLUVIA ÁCIDA EN LA COSTA DEL SOL. ANÁLISIS DE SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS

José Gómez Zotano

Este artículo pretende una aproximación a las causas de la lluvia ácida y las consecuencias que este tipo de polución atmosférica está teniendo sobre la Costa del Sol. La lluvia ácida es un grave y desconocido problema ambiental y socioeconómico que afecta a buena parte de esta comarca, propiciando un importante deterioro del medio ambiente y la salud humana. Pero, hasta el momento, los perjudiciales efectos de este tipo de contaminación sólo se han estudiado en la muerte de los árboles, especialmente de los valiosos pinsapos (*Abies pinsapo*) del Paraje Natural de Los Reales de Sierra Bermeja. En este sentido, investigaciones recientes han demostrado la conexión entre las industrias de la Bahía de Algeciras y los contaminantes depositados en el suelo de dicho pinsapar. Ello conlleva una deficiencia nutricional que impide el crecimiento normal de estos árboles y provoca una mayor susceptibilidad a perturbaciones generadas por el clima, enfermedades o insectos, que finalmente acaban causando la muerte, primero de pies aislados y después de amplios rodales de pinsapos.

INTRODUCCIÓN

La Costa del Sol, paraíso turístico conocido internacionalmente por la bondad de su clima y la espectacularidad de su paisaje natural, se está viendo gravemente afectada por la emisión de sustancias contaminantes procedentes de las grandes instalaciones de combustión de la Bahía de Algeciras, concretamente de las industrias térmicas y petroquímicas¹. Estas industrias se encuentran situadas a tan sólo 20 km del municipio malagueño de Manilva y a poco más de 40 km de la «Capital Internacional del Turis-

mo», Marbella. Dicha contaminación está protagonizada por la lluvia ácida. Como es sabido por todos, la lluvia ácida es una precipitación con un grado de acidez más elevado que el normal. La lluvia normal es ligeramente ácida, por llevar ácido carbónico que se forma cuando el dióxido de carbono del aire se disuelve en el agua que cae. Su pH suele estar entre 5 y 6. Pero en las zonas con la atmósfera contaminada por sustancias acidificantes, la lluvia tiene valores de pH de hasta 4 ó 3 y, en algunos lugares en que la

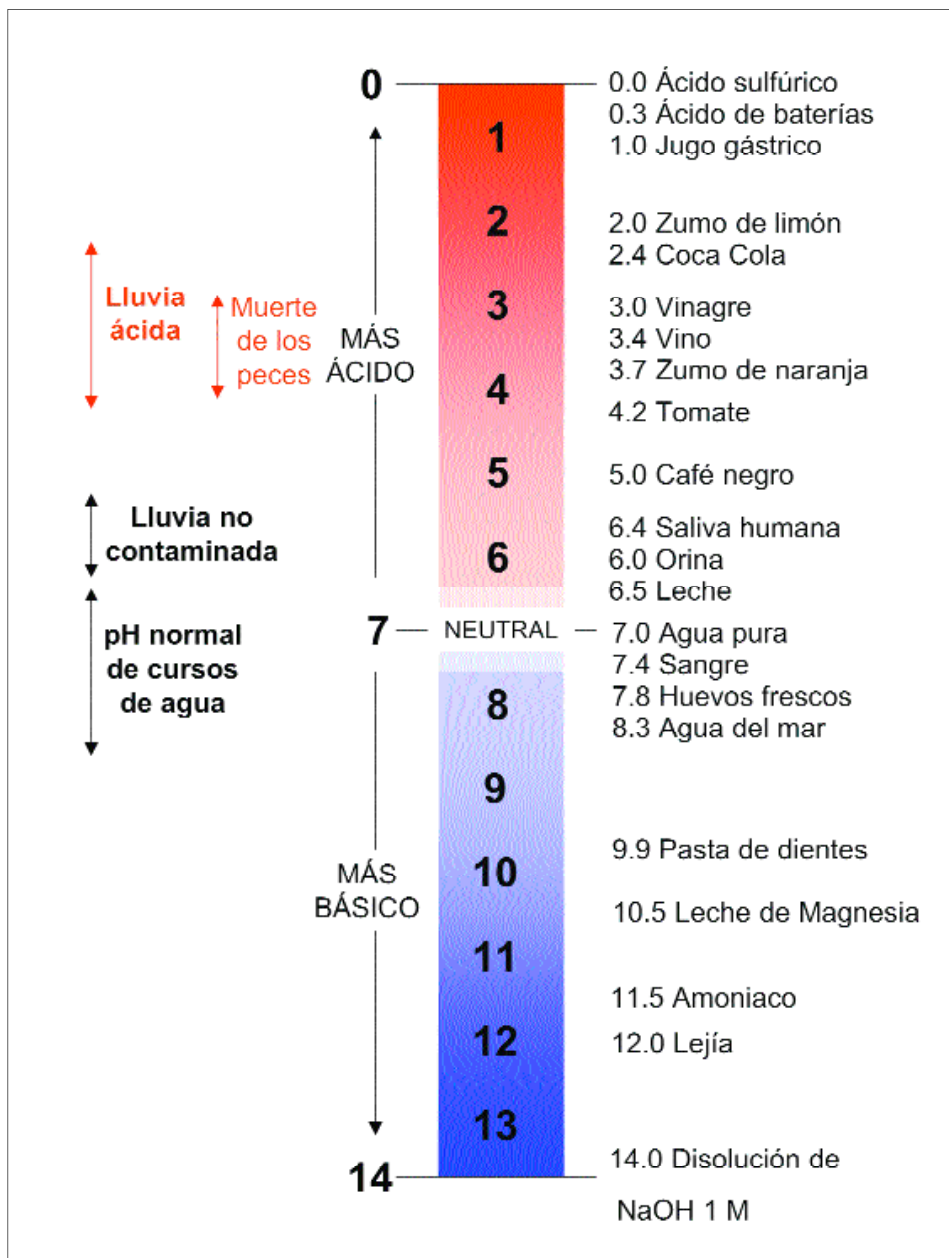


Figura 1. Escala del pH
Fuente: elaboración propia a partir de varias fuentes

niebla es ácida, el pH puede llegar a ser de 2,3, es decir, similar al del zumo de limón o al del vinagre, tal y como podemos apreciar en la escala del pH (figura 1). Los principales agentes causantes de la acidificación son el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), provenientes de las emisiones de las grandes instalaciones industriales que queman combustibles fósiles.

La lluvia ácida es ya una vieja conocida en otras áreas industrializadas del planeta, especialmente en algunos países de Europa (Alemania, República Checa, Eslovaquia, Grecia, Gran Bretaña y Francia) y de Amé-

rica del Norte (Estados Unidos y Canadá). Por tanto, son numerosos los científicos que han estudiado los efectos nocivos de la misma. Entre estos efectos destacan la destrucción de bosques y cosechas, la extinción y amenaza de la vida acuática, la corrosión de materiales de construcción y de las carrocerías de los vehículos y, por supuesto, el grave deterioro que supone para la salud humana (Hare, 1991; Da Cruz, 1996; Rodà y otros, 2002). Todo ello supone elevadas pérdidas económicas y un grave problema ambiental. Además, a estos efectos cabría sumar la posible repercusión negativa que podría tener en la imagen de importantes áreas turísticas, caso de la Costa del

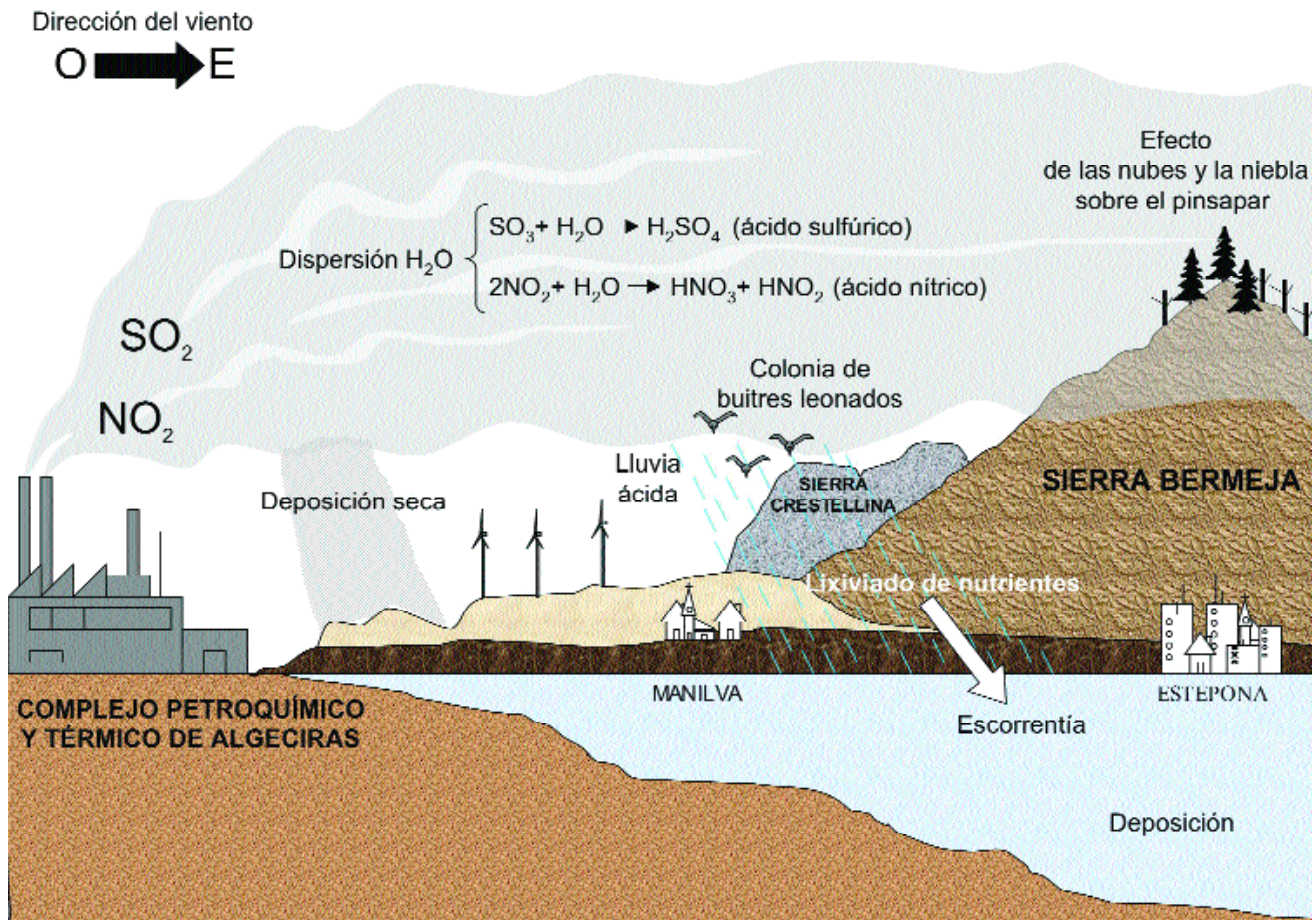
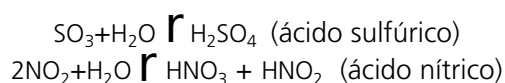


Figura 2. Esquema del proceso de contaminación atmosférica al que se ve sometido la Costa del Sol.

Sol, donde el turismo como actividad socioeconómica imperante constituye el sustento de la mayor parte de la población.

¿CÓMO Y POR QUÉ SE PRODUCE LLUVIA ÁCIDA EN LA COSTA DEL SOL?

En el gráfico de la figura 2 se puede observar cómo se produce la lluvia ácida en la Costa del Sol cuando las emisiones de las industrias de la Bahía de Algeciras se combinan con la humedad atmosférica. Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) y óxido de nitrógeno (NO_x) reaccionan en la atmósfera con el agua, el oxígeno y los oxidantes, formando una solución diluida de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃+HNO₂). La radiación solar aumenta la velocidad de esta reacción.



Así, algunas de las moléculas que contaminan la atmósfera son ácidos o se convierten en ácidos con el agua de lluvia. Las nubes, empujadas por el viento de Poniente, dominante en las estaciones lluviosas, llevan los contaminantes a la Costa del Sol y su trasfondo montañoso (Sierra Crestellina y Sierra Bermeja principalmente dada su mayor cercanía al foco contaminante). La lluvia, la nieve, la niebla y otras formas de precipitación arrastran estos contaminantes hacia las partes bajas de la atmósfera, depositándolos sobre las hojas de las plantas, la fauna, el suelo, los edificios, los coches y los habitantes de este territorio. Cerca de las fábricas, se producen daños adicionales por deposición de partículas ácidas de mayor tamaño que por gravedad caen en forma de precipitación seca. Estas partículas secas se vuelven especialmente corrosivas sobre superficies horizontales cuando se mezclan con el agua del rocío o la propia lluvia.

Pero hasta el momento la gran capacidad destructiva de la lluvia ácida sólo se ha evidenciado en algu-



Figura 3. Pinsapar de Los Reales envuelto por niebla ácida. Estos bosques situados en la montaña sufren nieblas ácidas que envuelven a las acículas y atacan su capa cerosa cuticular. La pérdida de esta capa produce unas manchas marrones y esto hace que disminuya la fotosíntesis de la planta y, por tanto, quede afectado su desarrollo. Foto: autor.

nos bosques de la Costa del Sol, concretamente en el pinsapar del Paraje Natural de Los Reales de Sierra Bermeja y en el alcornocal del Parque Natural de los Alcornoques, donde aparecen cada vez más árboles muertos sin razón aparente.

LLUVIA ÁCIDA Y LA MUERTE DE LOS PINSAPOS

La muerte de los árboles se torna como un asunto especialmente dramático en el pinsapar de Los Reales, no sólo por los incuestionables valores naturales del mismo –recordemos que se trata de un abetal endémico y relictivo único en el mundo sobre serpentinas– sino también porque los efectos de la lluvia ácida se ven incrementados en los bosques cumbreños como éste, donde la niebla (figura 3) aporta cantidades importantes de los contaminantes en cuestión.

Hasta ahora, sin embargo, aparte de algunas organizaciones ecologistas del Campo de Gibraltar y otras aportaciones propias (Gómez Zotano, 2004), son muy pocas las personas que se han atrevido a priorizar el asunto como de interés general. El equipo dirigido por J.A. Carreira de la Universidad de Jaén es pionero al respecto. Tras el análisis de los suelos del pinsapar de Los Reales, este equipo sugiere la existencia de anomalías en relación con la biogeoquímica del Nitrógeno (N), que muestra aquí síntomas de saturación con respecto a otros pinsapares muestre-

ados mas alejados del foco contaminante (Liétor Gallego, 2001; Liétor Gallego y otros, 2003).

El proceso conocido como «saturación de nitrógeno» resulta cuando el aumento de N supera la capacidad de asimilación del ecosistema, provocando desequilibrios en el balance de nutrientes y lixiviación de nitratos (NO_3^-) hacia los cursos de agua. Esto no carece de importancia si recordamos que los organismos vivos emplean el N en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo.

Liétor Gallego (2001) en contra de lo que cabría esperar en suelos desarrollados sobre serpentinas, caracterizados por una elevada carencia de macronutrientes (entre ellos, N y P), ha demostrado cómo los pinsapares serpentínícolas de Sierra Bermeja muestran concentraciones de N en cualquiera de sus compartimentos (suelo, hojarasca, raíces, follaje) y tasas de circulación de N extraordinariamente elevadas, tanto en relación con los pinsapares calcícolas comparables sucesionalmente (Sierra de las Nieves y Sierra de Grazalema), como en relación con datos bibliográficos correspondientes a otros bosques templados o mediterráneos de coníferas. Datos preliminares sugieren que la elevada disponibilidad de N en los pinsapares de Sierra Bermeja es achacable a la existencia de entradas atmosféricas recurrentes de N. Se midieron entradas por deposición húmeda de hasta $17 \text{ kg NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los pinsapares serpentínícolas, frente a los $2,7 \text{ kg NH}_4^+ + \text{NO}_3^- \text{ ha}^{-1}$

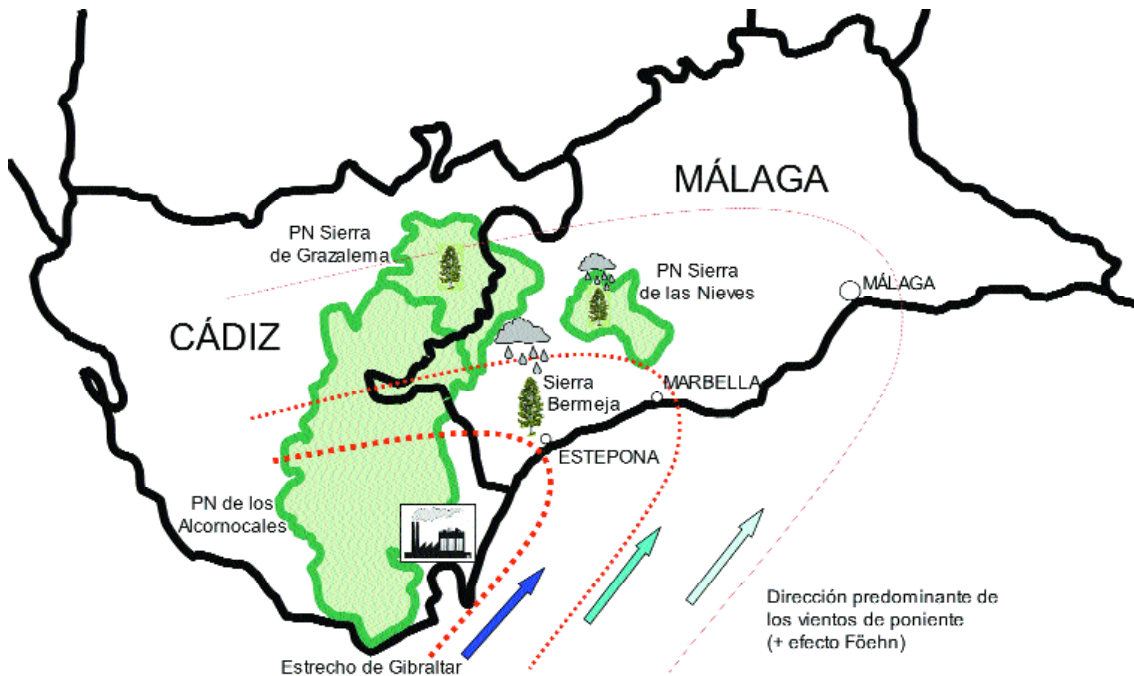


Figura 4. Gradiente geográfico de contaminación atmosférica relativo al foco contaminante de la Bahía de Algeciras respecto a las principales masas de pines del sur de la Península Ibérica.

año⁻¹ medidos en pinsapares calcícolas de estado sucesional comparable. El origen de las mismas apunta indiscutiblemente al foco contaminante del Campo de Gibraltar (figura 4), en asociación con un elevado efecto Föhn en dichos pinsapares que focaliza la deposición de contaminantes sobre los mismos (estos aspectos se están estudiando en la actualidad más detalladamente a través del proyecto CICYT BOS2000-897 y de la tesis doctoral de María Teresa Salido).

La deficiencia nutricional en ecosistemas sometidos a saturación por N suele derivar en altas susceptibilidades a perturbaciones (heladas, parasitosis, vendavales, o cualquier estrés hídrico o nutricional) y mortalidad, primero de pies aislados y después de amplios rodales (figura 5). Por ello son varios los factores que enmascaran el impacto de la lluvia ácida sobre los bosques de pinsapos. Los insectos, las enfermedades y la sequía, junto con otros tipos de contaminantes aéreos, son algunos de ellos. Por esta razón, es necesario comprender que si bien es cierto que la lluvia ácida no mata directamente al pinsapo, sí actúa a través de ciertos mecanismos que lo debilitan, haciéndolo más vulnerable a la acción de los agentes externos que finalmente acabarán con el árbol.

Prueba de ello es que hasta la fecha son numerosos los pinsapos que han muerto en Los Reales de Sierra Bermeja como consecuencia de los insectos, hongos, parásitos, musgos, heladas, sequías u otras causas, que en un pinsapo sano y normal no provocarían daños irreparables, pero que aquí acaban matando a los ejemplares debilitados.

Los principales síntomas de decadencia del pinsapo son:

- Coloración anormal de las acículas. En vez de ser del verde habitual, están más amarillentas, con síntomas de clorosis. Estas contienen menos iones que lo normal, especialmente Mg y también Ca, K y Zn.
- Caída prematura de la acícula, por lo que el pinsapo se va quedando sin acículas.
- Disminuye la producción neta. Se frena o se detiene la formación de madera y el árbol no aumenta su biomasa.
- Muerte de las ramas. Algunas ramas se van secando y mueren.
- Regresión de las raíces. Se van secando y encojiendo, con lo que disminuye la capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo.



Figura 5. Pinsapos muertos en la cumbre de Los Reales de Sierra Bermeja. Foto: autor.

CONCLUSIONES

Dado que la masa de Sierra Bermeja constituye el único ejemplo de pinsapar serpentínicola que existe en el mundo, las consecuencias que pueden derivarse, si no se ataja el problema a tiempo, serían especialmente graves. La Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía ya es consciente del asunto, pero la gran capacidad destructiva de la lluvia ácida sólo se está estudiando, hasta el momento, en el pinsapar. Pese a que se ha elaborado el Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar (PCACG)², éste se queda muchas veces en un listado de buenas intenciones y las industrias siguen contaminando. Por ello, quedan aún por analizar los efectos que la lluvia ácida están teniendo sobre el resto de elementos y factores configuradores del paisaje, entre los que se incluye el hombre. La consecuencia de la lluvia ácida en el ser humano determina un incremento muy importante de las afecciones respiratorias

(asma, bronquitis crónica, síndrome de Krupp, etc.) y un aumento de los casos de cáncer. En este sentido, son precisamente las poblaciones gaditanas más cercanas al foco emisor de contaminación (Algeciras, San Roque, Los Barrios, La Línea, Sotogrande) las que sufren un mayor número de secuelas. Así se pone de manifiesto en el *Atlas de Mortalidad por Cáncer y Otras Causas en España 1978-1992*, donde destaca un significativo patrón de distribución geográfica en el que la provincia de Cádiz, junto con la de Málaga y la Ciudad Autónoma de Ceuta, tienen las tasas más altas de mortalidad por todas las causas y, específicamente, por cáncer (López-Abente Ortega y otros, 1996). La contaminación debilita todo el organismo, sea humano, vegetal o animal, y eso provoca una disminución de las defensas y una mayor disposición a contraer enfermedades. Los más afectados son los niños, las personas mayores, las mujeres embarazadas y los aquejados de dolencias crónicas como corazón, circulación y asma.

Junto a la lógica preocupación por la salud humana, el mayor conocimiento que en la actualidad se está teniendo sobre esta problemática ha levantado una gran controversia que enfrenta directamente a dos importantes y, de seguir así, incompatibles sectores económicos andaluces, el de la energía y el del turismo. La existencia de una industria generadora de un notable volumen de actividad, la integración de importantes núcleos de población en torno a las fuen-

tes de actividades económicas, junto a un entorno natural que conserva numerosos valores ambientales de carácter único, son sólo algunos de los factores que motivan que las relaciones entre el desarrollo económico tanto del Campo de Gibraltar como de la Costa del Sol y la preservación del medio ambiente sean complejas. La solución al problema pasa necesariamente por la reconversión medioambiental de las instalaciones energéticas de la Bahía de Algeciras.

NOTAS

¹ En lo concerniente a la comarca del Campo de Gibraltar, la Junta de Andalucía en el Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar (PCACG), señala como fuente prioritaria de emisión la industrial, debido a la multitud e importancia de sus focos fijos, situados entre otros en centrales térmicas, industrias siderúrgicas, papeleras y petro-químicas. No obstante, también hay que considerar la contaminación difusa y los lixiviados procedentes de la intensa actividad urbana que se desarrolla en la zona.

² El Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar es un

plan de acción territorial cuyo objeto es prevenir y minimizar la contaminación en el Campo de Gibraltar, tomando, coordinadamente entre las Administraciones competentes y los agentes económicos implicados, las medidas necesarias con el fin de proteger al medio ambiente contra los efectos adversos de las actividades humanas y mantener niveles admisibles de calidad ambiental y en definitiva, sostener las condiciones de bienestar y salubridad adecuadas. En términos más concretos, el Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar tiene por objeto la mejora cuantificable de la calidad de las aguas, del aire y de los suelos, logrando que las actividades económicas de la zona sean compatibles con el medio ambiente, para de esta manera alcanzar el llamado Desarrollo Sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- DA CRUZ, H. (1996): *Lluvia ácida: impacto ambiental de las grandes instalaciones de combustión*. Miraguano. Madrid.
- GÓMEZ ZOTANO, J. (2004): *El papel de los espacios montañosos como traspais del litoral mediterráneo andaluz: el caso de Sierra Bermeja (provincia de Málaga)*. Editorial Universidad de Granada. CD-Rom.
- HARE, T. (1991): *La lluvia ácida*. SM. Madrid.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2001): *Plan de Calidad Ambiental del Campo de Gibraltar*. Documento Base.
- JUNTA DE ANDALUCÍA (2003): *Diagnóstico de la Situación Ambiental del entorno del Campo de Gibraltar*. Consejería de Medio Ambiente.
- LIÉTOR GALLEGU, J. (2001): *Patrones de disponibilidad y limitación por nutrientes como indicadores de estado en masas de pinsapar (Abies pinsapo Boiss)*. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén.
- LIÉTOR GALLEGU, J., CARREIRA, J.A., GARCÍA RUIZ, R. y OCHOA, V. (2003): «Variabilidad biogeoquímica en masas de pinsapar: Efecto de la litología y el estado sucesional». *Ecología*. Ministerio de Medio Ambiente.
- LOPEZ-ABENTE ORTEGA, G., POLLAN, M., ESCOLAR PUJOLAR, A., ERREZOLA SAIZAR, M. (1996): *Atlas de Mortalidad por Cáncer y Otras Causas en España 1978-1992. Atlas of Cancer Mortality and Other Causes of Death in Spain 1978-1992*. Fundación Científica de la Asociación Española Contra el Cáncer. Madrid.
- RODA, F., ÁVILA, A. y RODRIGO, A. (2002): «Nitrogen deposition in Mediterranean forests». *Environmental Pollution*, 118 (2), 205-213.