

LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN SANTA CRUZ  
DE TENERIFE (ISLAS CANARIAS)

«Todos tienen el derecho de disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo». (Art. 54, 1). CONSTITUCION ESPAÑOLA, 1978.

*INTRODUCCION*

Se denomina contaminación a «la presencia en el aire de sustancias o formas de energía que alteran la calidad del aire, de modo que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas, animales o plantas y bienes de cualquier naturaleza» (1).

Es evidente que esta amenaza no es reciente, pero sí que en la actualidad el problema está tomando proporciones preocupantes que exigen soluciones inmediatas desde distintos campos.

La integración de España, en fechas recientes, en la Comunidad Económica Europea, va a suponer una serie de ajustes y medidas en

---

(1) ESTEBAN BOLEA, M<sup>a</sup> T.: «Causas y medidas correctoras de la contaminación atmosférica». *B. I. del Medio Ambiente*. oct-dic. 1979, p. 11-29, cfr. 12.

muchas materias, entre ellas la referente a la contaminación atmosférica y, sobre todo, en tres aspectos diferentes:

a) En la CEE, los valores límites y valores guía de la calidad atmosférica para el anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) y las partículas en suspensión son sensiblemente más bajos que los vigentes en la legislación española. Como dato significativo baste señalar que en España el promedio de concentración admisible de  $\text{SO}_2$ , en condiciones normales de temperatura y presión, para un período de tres días, es de  $353 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; mientras que la CEE declara los valores límites, para el mismo período de tiempo, en  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Si se comparan los promedios de concentración acumulada de  $\text{SO}_2$  y de partículas en suspensión inferiores a 10 micras, en un año, según las normas de los distintos países, también encontramos notables diferencias con respecto a España.

#### CUADRO I

Límites tolerados de concentración acumulada  
en un año ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Países	$\text{SO}_2$	Humos
España	150	130
EEUU	100	75
URSS	50	150
Japón	100	100
CEE	80	80

b) Los porcentajes de contenido de azufre en determinados combustibles líquidos deberán ser revisados y además supondrán unos elevados costos de inversión, porque van afectar a las industrias básicas (eléctricas, petroquímicas y refinerías).

c) El contenido de plomo de la gasolina también va a tener que ser modificado ya que el máximo autorizado en la CEE es de  $0,4 \text{ g/litro}$ , mientras que en España oscila entre los  $0,48-0,60$  y  $0,65 \text{ g/litro}$  según los diferentes octanajes. La Comunidad Económica Europea ha propuesto a sus países miembros que se comercialice la gasolina sin plomo a partir de 1986 y que sea obligatorio a comienzos de 1989, con vistas a reducir la contaminación atmosférica (*Información Ambiental*, 1984).

También los niveles de contaminación acústica permisibles se tendrán que cambiar. Actualmente, en la Europa Comunitaria el nivel máximo de ruido permitido es de 80 a 85 decibelios, pero está prevista la reducción de esos límites a la mitad a partir de 1989, así como la aplicación de medidas de control.

Las primeras medidas adoptadas para evitar la contaminación se efectúan en fechas muy lejanas (en Gran Bretaña en 1273 se decapita a una persona por haber violado la ley que prohibía producir humos).

También es cierto que éste es el país que más ha sufrido las consecuencias de una contaminación atmosférica elevada (en el mes de diciembre de 1952 la coincidencia de una situación atmosférica de una densa niebla y la emisión de los gases fueron los causantes de la muerte de alrededor de 4000 personas). A raíz de estos hechos se llevaron a cabo una serie de medidas eficaces encaminadas a la reducción de la contaminación atmosférica y que, en el plazo de pocos años, consiguieron su objetivo.

Suecia es otro de los primeros países que en su legislación dicta normas sobre la calidad del medio ambiente (Siglo XVIII).

En España hasta 1930, la Administración prácticamente ignora estos problemas. Con anterioridad a esta fecha, lo más sobresaliente en esta materia fue la emisión de un Real Decreto, en 1925, que regulaba diferentes aspectos de la sanidad urbana; la inclusión en el Código de la circulación, en 1934, de un artículo en el cual se prohibía la circulación de coches y motocicletas cuyos motores funcionasen a escape libre y emitiesen humos; y, en tercer lugar, un Reglamento de Actividades molestas, insalubres y peligrosas en 1961 (\*).

Ahora bien, será a partir de 1970 cuando se empiecen a desarrollar una serie de acciones correctoras tendentes a preservar y mejorar el medio ambiente. La más importante de ellas es el Decreto 833/1975 de 6 de febrero, en el cual se establecen los principales contaminantes de la atmósfera; la catalogación de las actividades industriales potencialmente contaminadoras, la fijación de los niveles de emisión admisibles según las distintas actividades, así como los límites de inmisión que no se deben sobrepasar.

Si excluimos las erupciones volcánicas y los incendios forestales fortuitos, el resto de las causas de contaminación atmosférica las provocamos los hombres. Las dos principales fuentes de contaminación son el crecimiento urbano, porque lleva consigo el aumento de vehículos y de las calefacciones domésticas y, en segundo lugar, el crecimiento industrial. El más peligroso de los dos es, desde el punto de vista de la transparencia del aire, el segundo, porque el número de focos, el volumen de sus emisiones y el tipo y la cantidad de contaminantes es mucho más elevado que el que se pueda producir en la ciudad. Sin embargo, esto no quiere decir que los automóviles contaminen poco. Por ejemplo, un coche movido por gasolina emite a la atmósfera: monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, plomo, etc.; y otro, con motor diesel, además de todos los anteriores, expulsa: anhídrido sulfuroso, anhídrido sulfúrico, partículas sólidas y líquidas y dióxido de carbono. Y todo esto suponiendo que el automóvil en cuestión esté en buenas condiciones, porque lamentablemente circulan por nuestras calles y carreteras gran cantidad de coches con una combustión deficiente e incompleta, expulsando por sus tubos de escape humos negros procedentes de partículas de carbono sin quemar.

---

(\*) RAMÍREZ, L. y otros: *Aspectos legales de la temática ecológica y ambiental*. Universidad de Murcia 1984, p. 122, cfr. 115.

Es sorprendente observar las cantidades de contaminantes emitidos por el consumo de un litro de combustible en un automóvil.

## CUADRO II

Contaminantes emitidos por 1 litro de combustible

Vehículo	Combustible	CO	NO <sub>x</sub>	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	Partículas
Motor de explosión	gasolina	360	15	30	1
Motor diesel	gas-oil	7	20	40	4

Fuente: *B. I. del Medio Ambiente*. oct.-dic. 1979, p. 16.

La prueba de que es posible reducir notablemente los índices de contaminación debida a los motores de los vehículos la tenemos en algunas ciudades americanas donde se ha implantado la gasolina sin plomo, así como unos controles anuales severos en los sistemas de combustión y escape. También Madrid (España), a partir del mes de agosto de 1985, cuenta con una nueva ordenanza municipal de medio ambiente en la que se incluye la obligatoriedad de realizar inspecciones anuales de la emisión de humos en los vehículos diesel (\*).

Los principales contaminantes emitidos, tanto por los automóviles como por los procesos industriales, son los siguientes:

1) *Anhídrido sulfuroso* (SO<sub>2</sub>): Es un gas dos veces más pesado que el aire, casi incoloro y de olor picante e irritante, peligroso por su incidencia en las personas con problemas cardiovasculares. Según el soviético J. A. IZRAEL, se transmite en la atmósfera a una altitud media de 1350 m (\*). Procede de los combustibles que contienen azufre como impureza. En condiciones normales es un gas estable, pero en la atmósfera se oxida fácilmente ante la exposición a la luz solar dando lugar a anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) y, combinándose con el agua se convierte en ácido sulfúrico (SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>), lo que provoca las llamadas nieblas y lluvias ácidas, muy peligrosas para la salud humana, la agricultura, la pesca e incluso los edificios y estructuras metálicas a la intemperie.

2) *Monóxido de carbono* (CO): Es un gas muy ligero que procede de los tubos de escape de los automóviles con motor de explosión. Es el contaminante más emitido a la atmósfera y peligroso para las personas que trabajan en zonas de elevado tráfico. Según informes médicos, al combinarse con la hemoglobina disminuye la capacidad de la función de transporte del oxígeno.

(\*) *Información Ambiental* n.º 5, 1985, p. 64, cfr. 39.

(\*) IZRAEL, J. A.: *La lluvia ácida y sus efectos sobre el medio ambiente*. Conferencia pronunciada en la 33 Reunión del Comité Ejecutivo de la OMM. 1982, cfr. 31.

3) *Hidrocarburos* ( $C_n H_m$ ): No se encuentran en la atmósfera en porcentajes significativos, salvo en las zonas petrolíferas. Proceden de la combustión incompleta del carburante de los coches y de las emisiones de las industrias petrolíferas.

4) *Sulfuro de hidrogeno* ( $SH_2$ ): Se origina en las unidades de desulfuración de las refinerías.

5) *Oxidos de nitrogeno* ( $NO_x$ ): Proceden de la combustión de los motores de explosión y de algunas industrias (hornos). Es un gas muy pernicioso para los vegetales y favorece la formación del smog fotoquímico.

6) *Dióxido de carbono* ( $CO_2$ ): Es un componente normal del aire atmosférico que absorbe las radiaciones infrarrojas que emite la tierra. Sin embargo la combustión de todos los compuestos orgánicos (petróleo, gas natural y carbón) emite cantidades en exceso de este gas a la atmósfera y aunque una parte muy importante es absorbida por los océanos y por la acción de fotosíntesis de las plantas, su concentración excesiva en la atmósfera supone un calentamiento del aire que rompe el equilibrio térmico entre la superficie terrestre y la troposfera, provocando cambios climáticos significativos.

7) *El ozono* ( $O_3$ ): Existe en la atmósfera entre los 20 y 40 km de altitud. También se origina en algunas instalaciones eléctricas de alta tensión y en los coches cuando están en ralentí. Tanto su exceso como su defecto son perniciosos para la vida en la Tierra; su exceso en las capas bajas de la atmósfera por su toxicidad y su defecto en las capas altas porque se reduce el efecto de filtro de las radiaciones ultravioleta, componentes de la radiación solar.

8) *Contaminantes acústicos* (ruidos): No emiten ninguna sustancia a la atmósfera, pero poseen efectos negativos sobre la salud humana (problemas auditivos, psicofisiológicos...). Los causantes de ellos son el desarrollo industrial, urbano y la aeronavegación.

## I. EL CLIMA Y LA CONTAMINACION ATMOSFERICA

No es finalidad nuestra en este trabajo el indicar las medidas a tomar con el fin de restablecer la calidad del medio ambiente, ni tan siquiera el de analizar cómo afectan los diferentes contaminantes.

Nuestro objetivo fundamental es el de señalar el importante papel que desempeñan los factores climatológicos a la hora de estudiar los problemas de la contaminación atmosférica, en lo que se refiere a la mayor o menor capacidad dispersante de unos contaminantes que se mantienen o aumentan, pero nunca disminuyen. Es decir, el hecho de que no percibamos un elevado grado de contaminación no quiere decir que la emisión de contaminantes a la atmósfera sea menor, tan sólo

significa que la dispersión es mejor, debido a unas condiciones meteorológicas adecuadas.

Para ello hemos elegido el caso concreto de Santa Cruz de Tenerife, ciudad con cerca de 170 000 habitantes en 1985, que ha englobado dentro de su casco urbano a un polígono industrial, incluida una refinería de petróleo, y que es la séptima ciudad española más contaminada por partículas sólidas y la décima por  $\text{SO}_2$  (\*).

Es cierto que algunos problemas que provocan la contaminación atmosférica tienen soluciones tecnológicas, aunque supongan unos costos muy elevados (por R/D. 2512/1978 de 14 de octubre se concedieron 299,113 651 millones de pesetas para subvencionar la aplicación de medidas correctoras en distintas empresas de Bilbao con el fin de un saneamiento atmosférico). También es cierto que si se hubiesen tenido en cuenta, a la hora de tomar decisiones sobre la ordenación del territorio, otras variables que no fueran las económicas, como las climatológicas, la contaminación de algunas zonas concretas se hubiese podido evitar (\*\*).

Los principales factores meteorológicos que pueden influir en la contaminación atmosférica de una zona concreta son:

1—La dirección, frecuencia y velocidad de los vientos dominantes, relacionándolos con la topografía del lugar.

2—Los centros de acción dominantes en las distintas estaciones del año y la posibilidad del paso de borrascas y frentes.

3—La importancia y frecuencia de las inversiones térmicas que alteren el gradiente vertical de las temperaturas.

4—Las turbulencias del aire en las capas más bajas de la atmósfera, así como las velocidades de esas corrientes.

En general, los episodios de fuerte contaminación siempre obedecen a situaciones desfavorables para la buena dispersión de esos contaminantes. Mientras que una atmósfera con una estratificación vertical estable, con escasas turbulencias y con calmas siempre favorece a la concentración de impurezas en las capas más bajas en las proximidades de los focos de emisión; una atmósfera inestable, con importantes corrientes verticales y turbulencias impide dicha concentración y, por el contrario, favorece la transparencia del aire. Si a estos últimos efectos le unimos las precipitaciones, lo que se produce es un lavado atmosférico, ya que las gotas de agua arrastran consigo a las sustancias más o menos disueltas y las insolubles que se adhieren a ellas durante la caída. Ahora bien, esta lluvia lleva consigo ácido sulfúrico, lo que provoca contaminación en el terreno, vegetación y seres vivos sobre los que cae.

Como bien dice MANUEL TOHARIA, en el estudio de la contaminación, tanto urbana como industrial, el papel de la Meteorología está muy

(\*) ENSENAT DE VILLALONGA, A.: «La contaminación atmosférica en España y los medios para combatirla». *B. I. del Medio Ambiente*, oct-dic. 1980, p. 51-68, cfr. 59-60.

(\*\*) Ver artículo de MIRO-GRANADA GELABERT, J. «Algunos aspectos de las aplicaciones de la meteorología». *Revista de Meteorología*, dic. 1982, p. 25-51.

claro y debe tener dos vertientes: por un lado la de vigilancia y, por otro, la de predicción de esas posibles situaciones potencialmente peligrosas (TOHARIA, M., 1980).

## II. LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

Santa Cruz de Tenerife, capital de la isla y a la vez de la provincia del mismo nombre, está situada en la vertiente de sotavento del Macizo de Anaga, en el Nordeste de la isla de Tenerife.

El emplazamiento tan particular que posee le impone una serie de condicionamientos, que no sólo van a imposibilitar la expansión de la ciudad sino también la dispersión, ante situaciones atmosféricas muy concretas, de los contaminantes emitidos por las industrias localizadas en la costa sur del casco urbano.

Entre los factores climatológicos que juegan un papel destacado en la contaminación atmosférica de la ciudad hay que destacar el régimen de los vientos alisios. Estos fluyen del NNE, procedentes del flanco oriental del anticiclón de las Azores, con una frecuencia anual elevada, entre el 65 y 70 % y con una fuerza que oscila entre los 10 y 25 km/h. El alisio es para la ciudad de Santa Cruz de Tenerife una verdadera «escoba» que barre los contaminantes industriales hacia el Atlántico, no afectando al caso urbano. Se puede decir que es la situación atmosférica más favorable en lo que se refiere a la contaminación de la atmósfera urbana, pero no hay que olvidar que no se elimina, únicamente se dispersa, pasando a ser contaminación global.

Ahora bien, el 30 % restante, en el que no existe el viento dominante, la ciudad está sumida en calmas o en vientos de componente Este y Sur. Será en estas situaciones cuando las posibilidades de dispersión de los contaminantes son prácticamente nulas, puesto que éstos provienen del sector Sureste de la ciudad, penetran en ella y son «retenidos» por el obstáculo del Macizo de Anago (992 metros). Además, esta situación desfavorable puede verse agudizada por una inversión térmica en las capas más bajas de la atmósfera.

La alternancia de las brisas diurnas y nocturnas hace que una de las peores localizaciones de las industrias contaminadoras sean los sectores costeros; aunque en este caso la frecuencia de los alisios, paralelos a la costa, anula prácticamente los efectos de dichas brisas.

El desarrollo de un Polígono Industrial, separado de la ciudad únicamente por una avenida y «encerrado» entre ésta y el mar, determinó que en 1975 se creara un Departamento de Sanidad Ambiental dependiente de la Dirección Territorial de la Salud. Dicho Departamento está encargado de medir, de acuerdo con los métodos aconsejados por la OCDE, los parámetros de inmisión de anhídrido sulfuroso, humos y partículas en suspensión. Para ello se instalaron siete sensores del tipo S. F., distribuidos por distintos puntos de la ciudad y que están incluidos en la Red de Vigilancia Nacional (fig. 1).

El emplazamiento actual de estos sensores es el siguiente:

Sensor 1401: Ayuntamiento (calle Méndez Núñez);

Sensor 1402: Gasolinera (c. Gral. Mola esquina Avenida Venezuela);

Sensor 1403: Col. Nacional Elcano (C/. Legazpi);

Sensor 1404: Farmacia Moderna (Rambla Pulido);

Sensor 1405: Dir. Territorial de la Salud (Rambla Gral. Franco);

Sensor 1406: Delegación del Trabajo (C/. La Marina);

Sensor 1808: Col. Nacional Chamberí (Barrio Chamberí).

(Nota: el sensor n.º 1406 se da de baja el 3 de julio de 1984 porque los niveles de inmisión eran tan bajos que no hacía necesaria su recogida).

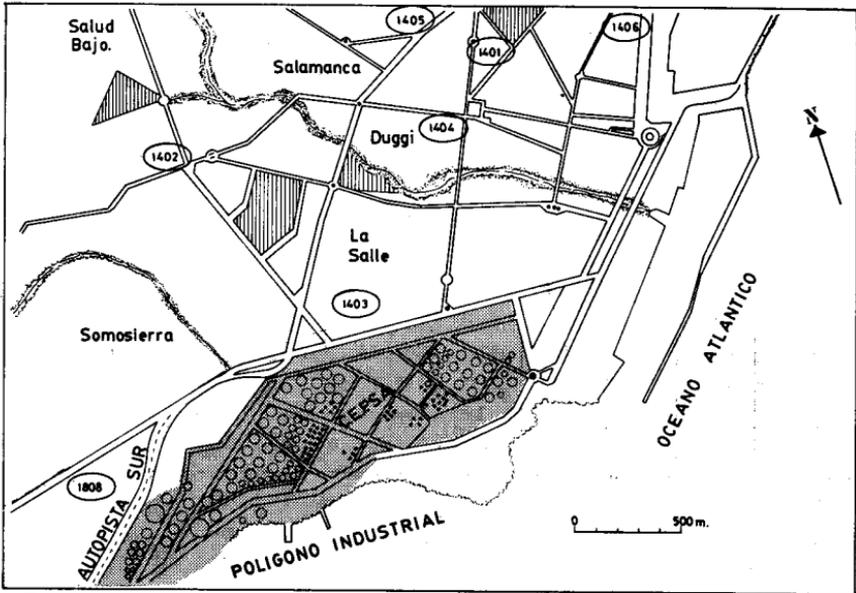


Fig. 1—Localización de los sensores que miden la contaminación atmosférica en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife.

Dentro de las industrias de base existentes en dicho Polígono está, desde 1929, la Compañía Española de Petróleos S. A., con una extensión superficial de 813 462 m<sup>2</sup>.

Este tipo de industrias provocan lo que el Decreto 833/1975 del 6 de febrero define como contaminación sistemática, ya que emiten contaminantes en forma continua o intermitente; y están comprendidas en el Grupo A del Catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera, junto con las centrales térmicas convencionales y las nucleares.

En un período de 10 años, desde 1975 hasta marzo de 1985, en Santa Cruz de Tenerife se han sobrepasado los límites higiénicamente admisibles para un período de 24 horas, según la legislación española, en 35 y 54 ocasiones en lo que se refiere a SO<sub>2</sub> y a humos respectivamente. En ninguna ocasión se ha llegado, en el promedio de concentración en un día, a las situaciones de emergencia, ni tan siquiera en primer grado, tanto en anhídrido sulfuroso como en partículas en suspensión.

Ahora bien, si tuviésemos en cuenta los informes de la OMS de 1976 (<sup>1</sup>), en los cuales se establece que a partir de 250 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> y de humos las personas afectadas por problemas respiratorios comienzan a sentir los efectos negativos, tan sólo durante el año 1984 Santa Cruz de Tenerife sobrepasó esos límites 31 veces en SO<sub>2</sub> y 27 veces en humos; y si aplicásemos los valores guía de 100 µg/m<sup>3</sup>, fueron 111 y 246, respectivamente, las ocasiones que superaron ese valor en dicho año.

Si observamos su distribución anual, salvo el año 1978 en el caso de los humos, únicamente se constata un incremento de los días de contaminación de ambos tipos a partir de los dos últimos años.

### CUADRO III

N.º de días al año con niveles de inmisión superiores a 400 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> y a 300 µg/m<sup>3</sup> de humos

Años	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
SO <sub>2</sub>	0	3	5	1	2	1	0	6	6	10	1
Humos	6	4	3	9	4	3	0	0	8	11	6
<i>Total</i>	6	7	8	10	6	4	0	6	14	21	7

Fuente: Departamento de Sanidad Ambiental de Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia.

Evidentemente estas cifras son insignificantes si las comparamos con las alcanzadas en ciudades como Madrid, Bilbao o Barcelona, o en otras ciudades de menor tamaño pero de una gran importancia industrial como Baracalo, Avilés o San Adrián de Besós.

Ante estas situaciones tan extremas queda claro que Santa Cruz de Tenerife no es o no se le puede considerar como una ciudad contaminada. Ahora bien, esto no quiere decir que en los últimos años la calidad del ambiente de su casco urbano no se esté degradando de forma claramente visible, no sólo por la emisión de anhídrido sulfuroso de las industrias sino también por los contaminantes emitidos por un

(<sup>1</sup>) SANCHEZ MURIAS, B.: «Consideraciones sanitarias sobre episodios de contaminación atmosférica». *B. I. del Medio Ambiente*. oct-dic. 1979, p. 30-60, cfr. 36.

número de vehículos cada vez mayor y por un aumento considerable de ruidos, olores...

En el ritmo estacional se observa un incremento de los máximos de contaminación de  $\text{SO}_2$  en los meses estivales, mientras que en el resto del año los niveles son muy similares. Por el contrario, los límites máximos de humos se concentran claramente en el otoño e invierno.

#### CUADRO IV

Distribución estacional de los días con niveles de contaminación superior a  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{SO}_2$  y a  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en humos

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
$\text{SO}_2$	6	7	15	7
Humos	28	0	2	24

Fuente: Ver cuadro III. Elaboración propia.

En el verano la frecuencia con que se producen las invasiones de aire sahariano es muy elevada, lo que provoca una clara inversión térmica en las capas atmosféricas más bajas y una penetración de los contaminantes hacia la ciudad por vientos de clara componente Este y Sureste. Por el contrario, durante el otoño y comienzos del invierno la frecuencia de calmas es muy elevada, lo que ocasiona una mayor concentración de los humos, sobre todo los procedentes de los vehículos.

En la actualidad el parque móvil de Santa Cruz de Tenerife está compuesto por alrededor de 75 000 vehículos de todo tipo, que provocan a unas horas punta y en algunas calles determinadas, densidades de tráfico muy intensas (p. e. en la Avda. Tres de Mayo circulan en ambas direcciones un promedio de 3000 coches/hora) (\*).

#### CUADRO V

Total mensual de días con niveles de contaminación superior a  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{SO}_2$  y a  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en humos (enero 1975-marzo 1985)

	E	F	M	A	MY	J	JL	A	S	O	N	D	Total
$\text{SO}_2$	1	3	5	2	0	1	11	3	4	2	1	2	35
Humos	6	9	0	0	0	0	0	2	5	11	8	13	54

Fuente: Ver cuadro III. Elaboración propia

(\*) Informe sobre la vigilancia y control de contaminación atmosférica del municipio de S/C. Departamento de Sanidad Ambiental de la Dirección Territorial de Salud de S/C de Tenerife. Dic. 1984, p. 17, cfr. 5.

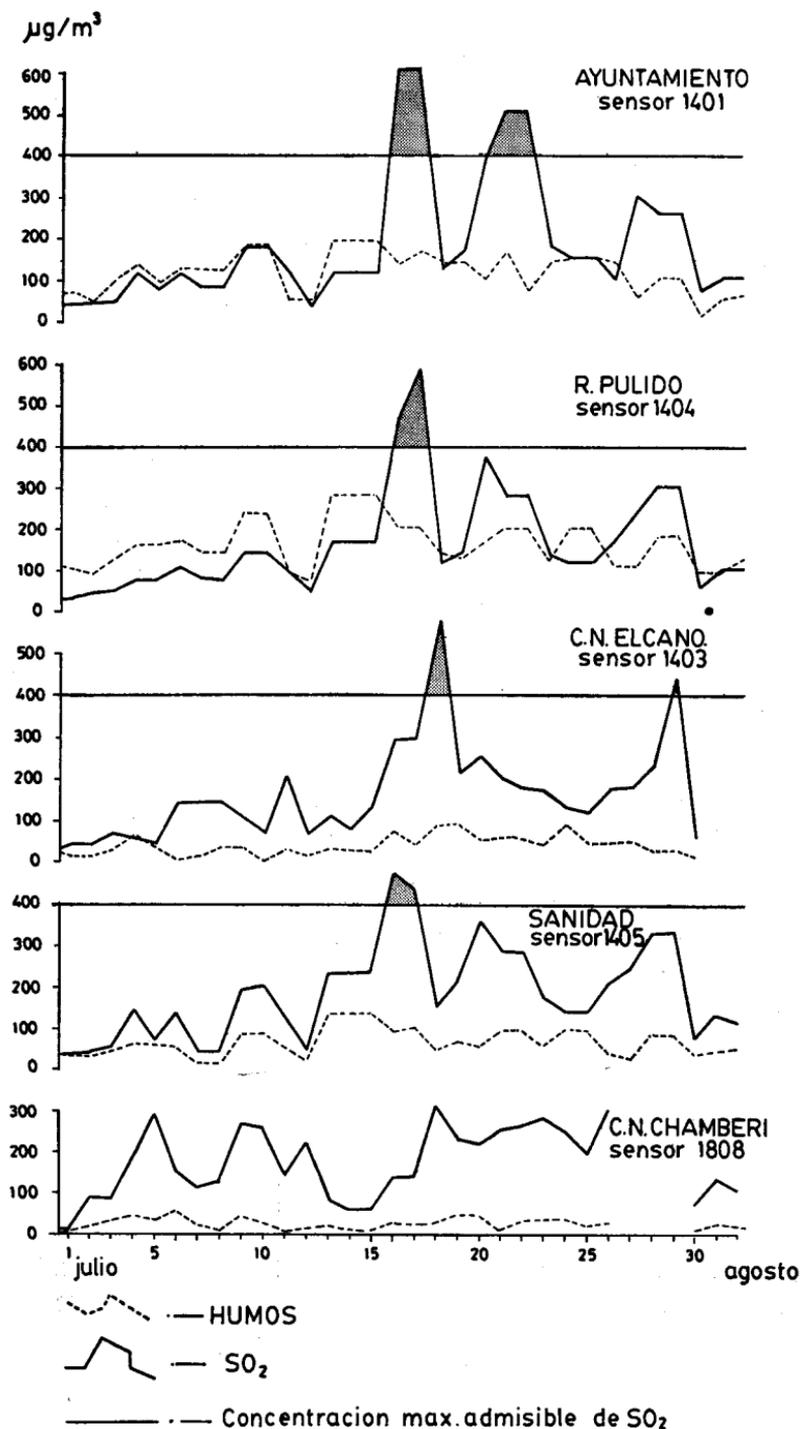


Fig. 2 — Niveles de concentración de humos y  $\text{SO}_2$  en el mes de Julio de 1984 en Santa Cruz de Tenerife.

Las gráficas de inmisión de  $\text{SO}_2$  y de humos durante los meses de julio y octubre de 1984 sirven de ejemplo para establecer dichas diferencias estacionales. Mientras que en julio los niveles de  $\text{SO}_2$  superaron claramente a los de partículas en suspensión inferiores a una micra, en octubre se mantuvieron muy similares e incluso superaron los humos

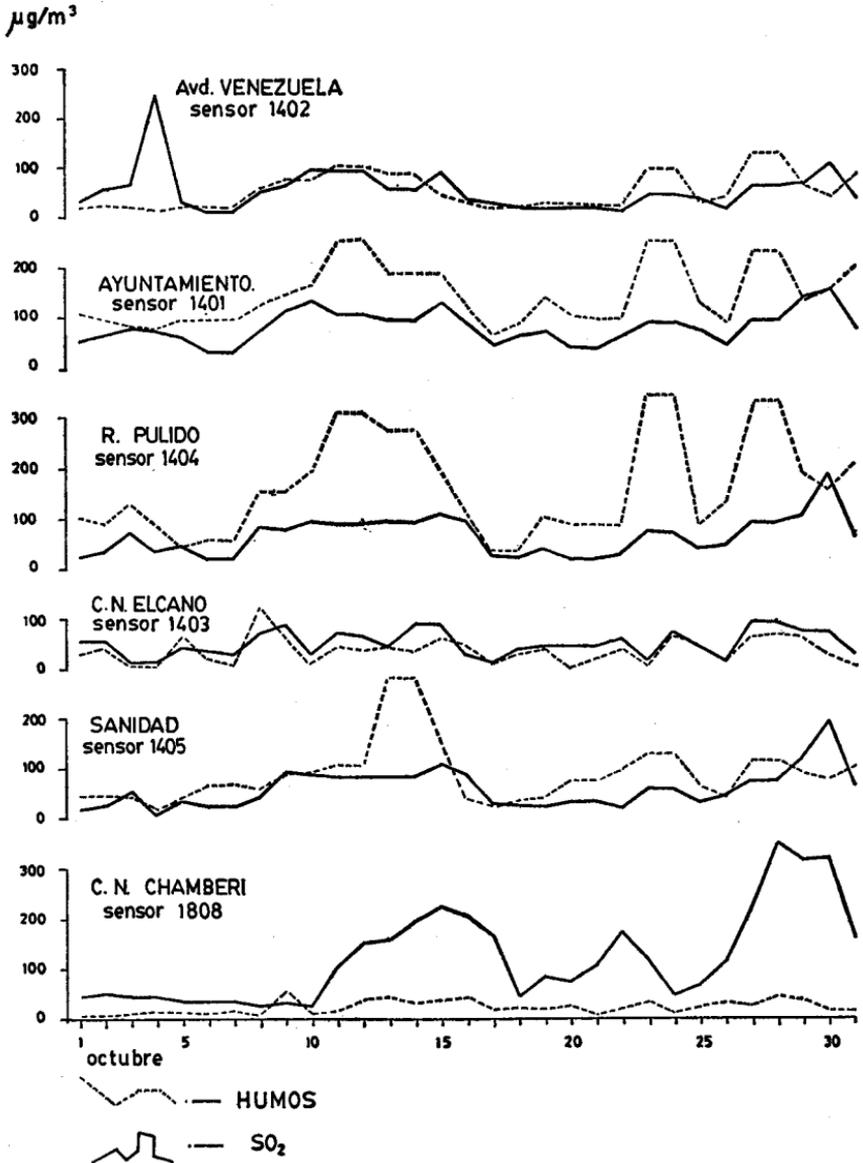


Fig. 3 — Niveles de concentración de humos y  $\text{SO}_2$  en el mes de Octubre de 1984 en Santa Cruz de Tenerife.

al  $\text{SO}_2$ . Los sensores situados en el Ayuntamiento y Rambla Pulido muestran que los niveles de humos casi siempre son superiores a los de  $\text{SO}_2$  (fig. 2). Esto se debe a que son dos arterias de circulación muy importantes y por lo tanto registran un mayor tráfico de vehículos, siendo los únicos puntos en la ciudad que sobrepasan el promedio de concentración acumulada anual de los humos. A la vez están más alejados de los centros de emisión de los contaminantes industriales.

Exactamente lo contrario ocurre con el sensor de Chamberí, donde se registran siempre niveles superiores de anhídrido sulfuroso que de humos, por ser un barrio con escasa densidad de tráfico pero muy próximo al Polígono Industrial.

En este trabajo sólo se van a analizar las situaciones en las que se sobrepasaron los límites admisibles de contaminación por anhídrido sulfuroso, estableciendo las relaciones existentes entre éstas y las situaciones atmosféricas, para así poder conocer las causas reales que motivaron estos niveles de concentración de  $\text{SO}_2$ .

### III. LA CONTAMINACION Y SU RELACION CON EL TIEMPO ATMOSFERICO EN SANTA CRUZ DE TENERIFE

El método utilizado ha sido el análisis de los distintos tipos de tiempo en las 35 ocasiones, a través de los mapas de superficie y de altura a 850, 700, 500 y 300 hPa., posteriormente el estudio de los principales fenómenos meteorológicos de esos días (temperaturas, vientos, humedad, nubosidad, visibilidad y precipitaciones) y, por último, los sondeos de la atmósfera gracias al hecho de contar con una estación de radiosondeos en la misma ciudad de Santa Cruz de Tenerife, lo que nos ha permitido analizar las distintas capas de la atmósfera durante los días críticos de contaminación.

Al analizar la relación existente entre los 35 días en los que se produjo un incremento de los valores de contaminación y el tiempo atmosférico se obtienen los siguientes resultados:

1) En 20 ocasiones (15 en verano, 1 en primavera y 4 en otoño) correspondió a una situación atmosférica de baja presión térmica cálida a nivel superficial en las costas de Marruecos y afectando a las Islas Canarias con vientos de componente Este. Y en altura a una dorsal anticiclónica a todos los niveles.

2) En 1 ocasión (otoño) existía un potente anticiclón superficial (1032 hPa.) centrado en el Sur de Francia y afectando a Canarias con vientos del sector Este, tras un recorrido por el Norte de Africa. En altura existía una dorsal anticiclónica a todos los niveles.

3) En 2 ocasiones (invierno y otoño) coincidió con un anticiclón a nivel superficial, de 1028 hPa., centrado en el Mediterráneo Occidental y con un flujo de vientos del Este sobre Canarias. En altura se correspondía con una dorsal anticiclónica.

4) En 4 ocasiones (1 en otoño y 3 en invierno) coincidieron con un anticiclón superficial, de 1024 hPa. en el Norte de Africa (costa de Túnez) y que afectaba a Canarias con vientos del Este y, en altura,

con una vaguada situada al Oeste del Archipiélago, con vientos del SSW sobre esta área del Atlántico Oriental.

5) En 8 ocasiones (4 en invierno y 4 en primavera) los valores de contaminación se incrementaron coincidiendo con una borrasca en superficie, procedente de las latitudes templadas y afectando a Canarias su frente frío y, en altura, con una vaguada a todos los niveles. Además, en cuatro de estas ocasiones se produjeron precipitaciones en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife.

Los 27 primeros casos deben ser agrupados en uno sólo porque responden a la misma situación atmosférica: invasión de aire procedente del Sáhara, aunque su origen no sea el mismo.

Dentro de este tipo de invasiones existen dos posibilidades:

a) La instalación de una baja presión térmica, bastante profunda, debida al calentamiento superficial, en el Oeste del desierto del Sáhara, con vientos del Este y Sureste sobre Canarias.

b) La retirada del anticiclón de Azores hacia el NW del Atlántico y la instalación de altas presiones termicas al Sur de Europa, Mediterráneo Occidental o Norte de África que, tras un largo recorrido por el continente africano, afectan también a Canarias con vientos del Este y Sureste. En este caso el origen de este aire es polar, pero en su paso por el Sáhara se calienta y deseca (\*).

Mientras que las primeras, mucho más cálidas, secas y con fuertes inversiones térmicas, se producen en verano, las segundas, más frescas o por lo menos cálidas y casi siempre sin inversión en el gradiente térmico, se registran con mayor frecuencia durante el invierno y la primavera.

De todas formas, en los dos tipos de invasión se produce una gran estabilidad atmosférica (ausencia de vientos fuertes, importantes inversiones térmicas en las capas bajas y con frecuencia presencia de calima) lo que impide que los contaminantes emitidos por las industrias se dispersen, ya que el aire contaminado no puede ascender por la «tapadera» natural que supone la inversión de la temperatura y queda retenido en las capas bajas; el aire no se mueve o se mueve muy poco.

Frente a estas 27 ocasiones, las ocho restantes coincidieron, sin justificación aparente, con una situación de atmósfera inestable (vientos racheados fuertes, precipitaciones y ausencia de inversión térmica).

Las invasiones de aire procedente del Sáhara se producen, como ya se ha dicho con anterioridad, fundamentalmente en la estación estival y todas ellas reúnen unas características comunes muy similares. Por este motivo hemos elegido el mes de julio de 1984 como representativo, ya que en él se registraron varios días seguidos con niveles de contaminación superior a los admisibles y, además, coincidieron con la misma situación atmosférica: «tiempo sur», denominado así popularmente por su oposición al tiempo dominante del Norte en las islas.

---

(\*) HUETZ DE LEMPS, A.: *Le climat des Iles Canaries*. CNRS, Paris 1969, p. 188, cfr. 47.

## CUADRO VI

Días de máxima contaminación en SO<sub>2</sub> en julio de 1984 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Días	16	17	18	21	22	29
Niveles	602	609	578	505	506	437

Fuente: Ver cuadro III. Elaboración propia.

Durante todo ese mes permanecieron las bajas presiones cálidas situadas en las costas de Marruecos, con presiones entre 1004 y 1016 hPa. y el anticiclón de Azores al NW, entre los 35 y 40° de latitud Norte, con una potencia entre 1020 y 1036 hPa. Únicamente entre los días 18 y 22, el anticiclón se retiró hasta la latitud de Gran Bretaña, permitiendo que los efectos de la baja térmica sahariana se dejaran notar con una mayor intensidad en las Islas Canarias.

En altura persistió una situación anticiclónica a todos los niveles, salvo en dichos días (del 18 al 22 de julio) en los cuales se produjo por encima de los 3000 m de altitud una penetración de aire frío de las latitudes templadas, pero no afectó de manera visible a la situación en superficie.

En concreto, durante estos seis días del mes de julio, las distintas variables meteorológicas registradas en Santa Cruz de Tenerife muestran cómo el ambiente era extremadamente cálido, con temperaturas máximas muy elevadas, superándose los 37° C.

— La humedad relativa alcanzaba valores bastante bajos, sobre todo el día 17.

— El porcentaje de horas de sol era elevado, salvo los días en los que había polvo en suspensión procedente del Sáhara. También la visibilidad se vió reducida hasta niveles muy bajos esos mismos días.

— El régimen de vientos durante los seis días, en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, fue de calmas hasta el mediodía y en las primeras horas del atardecer comenzaban a sentirse las brisas, generalmente del sector Sur y Este, pero de una intensidad muy baja.

— La presión a nivel superficial había descendido con respecto a los días anteriores, se mantuvo muy homogénea durante los seis días y a partir del 29 comenzó a ascender.

— Dos de los elementos que favorecieron la persistencia de calima fueron: la ausencia total de corrientes de aire horizontales, puesto que con brisas superiores a 1 m/seg. ya no se producen <sup>(20)</sup> y, en segundo lugar, el que las temperaturas eran más elevadas en los niveles superiores. Efectivamente, los días en los que hubo calima las calmas eran totales y la inversión térmica comenzaba a una mayor altitud que en los días precedentes.

<sup>(20)</sup> LANGE, G.: «La calima o nubes de polvo en el verano español». *Estudios geográficos* n.º 89, nov. 1962, p. 583-90, cfr. 585.

## CUADRO VII

Valores registrados del 16 al 29 de julio de 1984 en Santa Cruz de Tenerife

	16	17	18	21	22	29
Temperatura media (° C)	25.0	27.1	31.7	26.9	27.4	28.6
T. máxima (° C)	30.0	34.0	37.4	31.8	33.8	34.0
T. mínima (° C)	20.0	20.2	26.0	22.0	21.0	23.2
Humedad relativa (%)	68	54	30	62	55	56
Insolación (%)	65	12	47	74	72	47
Visibilidad (km)	30	10*	20	30	20-30	20*
Presión media (hPa)	1013	1013	1013	1014	1013	1015
Evaporación (mm)	3.8	6.9	4.8	4.0	6.8	7.0
Vientos	C-SSW	C-S	C-ENE	C-S	C-S	C**

\* Presencia de calima. \*\* Vientos en calma.

Fuente: Centro Meteorológico de Santa Cruz de Tenerife. Elaboración propia.

Sin embargo, contrariamente a lo que mantiene G. LANGE de que la calima apenas se encuentra en las áreas próximas a la costa a causa de los sistemas de vientos, en Santa Cruz de Tenerife este fenómeno se registra con cierta frecuencia, después de haberse manifestado los días anteriores en las medianías de la isla (p. e. La Laguna).

La inversión térmica es uno de los factores que ayudan a determinar la singularidad del clima del Archipiélago Canario. Esta inflexión en el gradiente térmico vertical se debe a la existencia de una corriente oceánica fría, la de Canarias, y a la división del alisio en dos capas: una inferior fresca y húmeda y otra superior cálida y más seca.

La inversión, salvo en muy contadas ocasiones, se manifiesta durante todos los días del año, con un espesor extremadamente variado (entre los 50 y 1500 m) y a una altitud también muy diversa, pero generalmente por encima de los 1000 m. E incluso, con mucha frecuencia, aparecen varias inversiones, a distintas altitudes, en el mismo día.

Durante el mes de julio de 1984 hubo inversión de la temperatura todos los días salvo la mañana del 19, lo que en parte ayudó a la dispersión de los contaminantes acumulados en los días anteriores (16, 17 y 18). Y en quince ocasiones existía una segunda inversión a mayor altitud.

A) El espesor medio de la capa de aire con inversión térmica, en ese mes, fue de 464 metros. Ahora bien, dentro de ese valor medio hubo espesores muy dispares puesto que los límites extremos estuvieron entre los 58 y los 1723 m.

B) En general, el espesor medio de la capa fue mayor durante la noche que durante el día (487 m frente a 440 m).

C) La altitud media de la base de dicha capa fue de 400 m con respecto al nivel del mar.

D) En lo que se refiere a la diferencia de temperatura entre la base y la cima de la inversión, la media en el mes de julio fue de 4° C por el día y 4,6° C por la noche.

Sin embargo, en los días de mayor contaminación de ese mes no se cumplieron estas pautas, porque:

a) El espesor de la capa de inversión fue inferior a la media de julio, salvo el primer día.

b) Los mayores espesores no se alcanzaron durante la noche.

#### CUADRO VIII

Espesor de la capa de aire con inversión térmica en los días de máxima contaminación en julio de 1984 (metros)

Días	16	17	18	21	22	29	Media del mes
Día	534	297	278	232	182	427	439.9
Noche	464	239	69	561	122	243	486.9

Fuente: Ver cuadro VII. Elaboración propia.

c) La inversión térmica del aire, durante esos días, comenzaba a escasos metros del suelo y terminaba a niveles bastante más bajos que los de la media mensual. Por este motivo la «tapadera» natural que impide la dispersión de los contaminantes estaba situada a muy poca altura, aumentando la concentración de anhídrido sulfuroso.

#### CUADRO IX

Altitudes de la base y cima de la inversión térmica en los días de máxima contaminación en julio de 1984 (metros)

Días		16	17	18	21	22	29	Media del mes
Día	Cima	570	402	314	393	341	584	840.5
	Base	36	105	36	161	159	157	402.0
Noche	Cima	500	275	105	597	158	787	840.5
	Base	36	36	36	33	36	544	391.2

Fuente: Ver cuadro VII. Elaboración propia.

d) Contrariamente a lo que cabría esperar, durante los días de mayor contaminación las oscilaciones térmicas en la capa de inversión no se alejaron mucho de las medias del mes y, además, no fueron significativas si las comparamos con otros días de ese mismo mes

(p. e. en el 12 y 18 la inversión de la temperatura fue de 10.3° C y 12.1° C respectivamente).

Ahora bien, en estos dos últimos casos dicha inflexión térmica se producía a una altitud bastante superior, 710 y 383 metros, que en los días que estamos estudiando.

### CUADRO X

Diferencias de la temperatura entre la base y la cima de la inversión en los días de máxima contaminación en julio de 1984 (° C)

Días	16	17	18	21	22	29	Media del mes
Día	4.8	5.3	0.1	1.6	1.2	2.3	4.0° C
Noche	7.3	4.3	1.1	6.3	1.2	2.2	4.6° C

Fuente: Ver cuadro VII. Elaboración propia.

Los ocho casos restantes, que coincidieron con bajas presiones acompañadas de frentes de chubascos, reflejan la conjunción de los siguientes factores:

1) No hubo inversión térmica en los niveles bajos de la atmósfera y en aquellos días en los que apareció estaba a partir de los 1500 metros de altitud, por lo tanto no favorecía un aumento de la contaminación en Santa Cruz de Tenerife.

2) Los vientos oscilaron entre el SW (230°) y el SE (130°), con velocidades entre 25 y 35 km/h y en algunos días se alcanzaron incluso las rachas máximas de ese mes (66 km/h).

3) En cuatro de estas ocasiones hubo precipitaciones en Santa Cruz de Tenerife, entre los 0,5 y los 15 litros/m<sup>2</sup>; en las restantes no, aunque sí había inestabilidad atmosférica puesto que tanto en los días anteriores como en los posteriores se llegaron a registrar cantidades de lluvia relativamente elevadas.

### CONCLUSIONES

En resumen, el aumento de los niveles de concentración de la contaminación en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife, sin olvidar su particular configuración topográfica, está relacionado con dos tipos de condiciones atmosféricas distintas:

1. Una situación de estabilidad vertical de la atmósfera y con una escasa capacidad de difusión debido a la persistencia del «tiempo sur» y a una inversión térmica con características muy concretas:

1.1. La principal de ellas es que la base de la inversión comienza a niveles muy bajos, cercanos al suelo, y la cima, es decir, cuando acaba el efecto de «tapadera», también se sitúa a altitudes más bajas de lo

normal. En muchas ocasiones la base de la inversión está por debajo de las bocas de las chimeneas de la Refinería de Petróleos.

1.2. El espesor de la capa de inversión es ligeramente inferior a lo normal.

1.3. La potencia de dicha capa es mayor durante el día que durante la noche.

1.4. El aumento de la temperatura, dentro de dicha capa, no es muy fuerte aunque sí es cierto que se parte de temperaturas bastante elevadas a nivel del suelo.

2. Una situación de inestabilidad atmosférica por la llegada de borrascas de las latitudes templadas y en la cual desaparece la inversión térmica, descienden las temperaturas, aumenta la nubosidad y la humedad relativa e, incluso, se registran precipitaciones de cierta consideración.

Ahora bien, este tipo de situaciones, en las que en teoría la atmósfera tiene una buena capacidad de difusión, vienen acompañadas de vientos de elevadas intensidades del sector Sur y Sureste que lanzan los humos del Polígono industrial y de la Refinería de Petróleos hacia el interior del casco urbano (fig. 4).

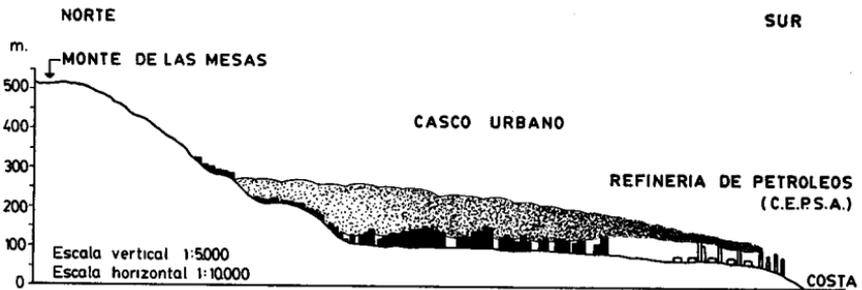


Fig. 4 — Estancamiento de los humos emitidos por el Polígono Industrial en el caso urbano, con vientos del Sur-Sureste.

Por tanto, con estos regímenes de vientos, su dirección e intensidad junto con la particular orografía del entorno del núcleo urbano de Santa Cruz de Tenerife desempeñan un papel muy importante en la degradación del medio ambiente de la ciudad. Sin olvidar el foco de contaminación tan importante que suponen los motores de los vehículos y los ruidos que éstos producen. Por otro lado, el Puerto de Santa Cruz de Tenerife origina un aumento en el tráfico rodado por la ciudad.

A pesar de ello, pensamos que la situación podría mejorarse sensiblemente adoptando una serie de medidas, tanto de previsión como de vigilancia. Entre las primeras hay que destacar que actualmente el Centro Meteorológico Zonal previene y avisa a las autoridades de la ciudad de situaciones de gran estabilidad atmosférica en las que la base de la inversión térmica es muy baja e impide la dispersión de los

contaminantes para que la Refinería de Petróleos y, en general, todas las industrias tomen medidas encaminadas a reducir al mínimo la emisión de gases con los medios que la técnica y la experiencia ponen a su alcance.

Por lo que respecta a las segundas sería conveniente una descongestión del tráfico rodado en el caso urbano, establecer un sistema de control de los ruidos urbanos y la vigilancia del estado de los vehículos.

M. VICTORIA MARZOL JAEN

#### BIBLIOGRAFIA

- ALBENTOSA, L. M. (1980): «Contaminación y cambio de clima en las regiones urbanas industrializadas». *Tarraco. Cuadernos de Geografía*, vol. 1, p. 11-37.
- (1982): «Introducción al estudio sistemático de la degradación del medio ambiente en la provincia de Tarragona». *Tarraco. Cuadernos de Geografía*, vol. 3. p. 105-139.
- Boletín Informativo del Medio Ambiente*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General del Medio Ambiente. Madrid.
- B. O. E.* n.º 96, del 22 de abril de 1975.
- GARNETT, A. (1967): «Some climatological problems in urban Geography with reference to Air Pollution». *Institute of British Geographers*. n.º 42, dic., p. 21-43.
- HARO, J. (1983): *Calidad y conservación del Medio Ambiente*. Cuadernos de Estudio. Serie Geografía, n.º 10, Madrid, 143 p.
- Información Ambiental*. Dirección General del Medio Ambiente. Madrid.
- OMM (1982): «El transporte a grandes distancias del azufre en la atmósfera y la lluvia ácida». Resúmenes de las conferencias científicas pronunciadas en la Trigésimotercera Reunión del Comité Ejecutivo.
- RAMIREZ, L. y otros (1984): *Aspectos legales de la temática ecológica y ambiental*. Universidad de Murcia, 124 p.
- TOHARIA, M. (1980): «Clima y medio ambiente». *Boletín Informativo del Medio Ambiente*, abril-junio, p. 49-54.
- ZABALA, M<sup>a</sup> A. (1980): «Tiempo y contaminación en Tarragona». *Tarraco. Cuadernos de Geografía*, vol. 1, p. 83-103.

*Nota:* Entregado ya el presente trabajo para su publicación, en el Consejo de Ministros del día 31-VII-1985 se aprobó un Real Decreto por el cual se rebajan los índices permisibles de contaminación atmosférica producida por dióxido de azufre y partículas en suspensión y se fijan los nuevos niveles de contaminación.