

N.º 2—junio 1958. — Discurso de ingreso: *Fármacos promotores del crecimiento. Los estrógenos de síntesis. Importancia higiénico-sanitaria de su empleo*, por el Muy Ilre. Sr. D. José Séculi Brillas. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. D. Isidro Bultó Blajot.

N.º 3—diciembre 1959. — Discurso de ingreso: *Nuevos datos para la historia de la familia Salvador*, por el Muy Ilre. Sr. D. Antonio de Bolós Vayreda. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Taurino Mariano Losa España.

N.º 4—abril 1961. — Discurso de ingreso: *Función biológica de las catecol-aminas*, por el Excmo. Sr. Dr. D. Francisco García-Valdecasas Santamaría. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Ramón San-Martín Casamada.

N.º 5—enero 1962. — Discurso de ingreso: *El cultivo de tejidos animales. Algunos aspectos de su aplicación en Fisiología*, por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Arsenio Fraile Ovejero. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. E. Gastón de Iriarte y Sanchiz.

N.º 6—julio 1962. — Discurso de ingreso: *La reacción Bødeker (sulfitos y nitroprusiatos)*, por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Fidel-E. Raurich Sas. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Jesús Isamat Vila.

N.º 7—abril 1963. — Discurso de ingreso: *Prospección de quimioterápicos de síntesis de acción antibacteriana*, por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Ramón Parés Farrás. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. D. Isidro Bultó Blajot.

N.º 8—noviembre 1963. — Discurso de ingreso: *Tripsina y α -quimotripsina: Acciones esterásicas y desmolásticas, e inhibiciones de las proteolíticas*, por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Fernando Calvet Prats. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Francisco Hernández Gutiérrez.

N.º 9—abril 1965. — Discurso de ingreso: *Los procesos de peroxidación en fisiopatología y su interés farmacológico*, por el Muy Ilre. Sr. D. Pedro Puig Muset. — Discurso de contestación por el Excmo. Sr. Prof. Dr. D. Francisco García-Valdecasas.

N.º 10—mayo 1965. — Discurso de ingreso: *La experiencia farmacológica a través de la Historia y en el presente. - El aleccionador ejemplo de la resistencia que adquieren los gérmenes a los antibióticos*, por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. José M.ª Pla Dalmau. — Discurso de contestación por el Muy Ilre. Sr. Dr. D. Jesús Isamat Vila.

REAL ACADEMIA DE FARMACIA DE BARCELONA

SESIÓN INAUGURAL

1967

Artículo 45 del Reglamento

La Academia no se hace solidaria de las opiniones científicas expuestas en sus publicaciones, especificándose esta norma en la contraportada de las mismas.

**DISCURSO INAUGURAL
DE CURSO**

por el

Muy Iltre. Sr. Dr. D.

Francisco Hernández Gutiérrez

Académico Numerario

LA POLUCIÓN DEL AIRE

Excelentísimo Señor Presidente,
Muy ilustres Señores Académicos,
Señoras y Señores:

Celebra anualmente esta Corporación, con carácter extraordinario y solemne, la apertura del curso académico, acto en el que después de oída la Memoria de Secretaría, que compendia la labor desarrollada a lo largo del ejercicio anterior, es leído el discurso inaugural por un Académico de Número, designado por riguroso orden de antigüedad.

Esta es la única razón por la que ocupamos hoy esta tribuna para someter a vuestra benévola atención el tema que hemos elegido, porque además de ser de nuestra especialidad y haberle dedicado algunos años de estudio y trabajo experimental, que deseamos divulgar, constituye realmente un serio problema nacional, de importancia creciente, que debe ser conocido, para actuar luego en consecuencia. Nos referimos a la polución o contaminación atmosférica por el polvo y residuos gaseosos que el hombre vierte habitualmente al aire desde que el mundo es mundo y que hoy sabemos es origen de daños y molestias de todo orden, entre las que no es la más leve, la de vernos obligados a respirar en un ambiente desagradable y malsano, como principal consecuencia de las combustiones y procesos nauseabundos de muchas industrias, sobre todo en las grandes ciudades, motivo por el que citaremos muchas veces el nombre de Barcelona a lo largo de nuestra exposición.

Se ha escrito muy recientemente en los Estados Unidos, nación que viene estudiando sistemáticamente estas cuestiones desde principios de siglo, que sólo es posible respirar de modo normal en Los Angeles, un día de cada tres, uno de cada seis en Chicago y uno de cada nueve en Washington. Creemos suficiente este aserto, al que agregaremos otros más concretos, para justificar la trascendencia de este problema, cuyo estudio, al que pueden contribuir eficazmente los profesionales farmacéuticos, dividiremos en tres partes, dedicando la primera al de la polución, otra al de sus efectos y la última, al de los medios para prevenirla o reducirla.

I

LA POLUCIÓN

De todas las sustancias necesarias para la vida, el oxígeno atmosférico es la más indispensable: un adulto sano puede vivir sin ingerir alimentos durante semanas, puede resistir pocos días sin agua, pero bastan unos minutos para sucumbir a falta de oxígeno para respirar. Esencial para la vida es el aire con nivel razonable de pureza; en

24 horas los pulmones de un adulto de talla y peso normales inspiran, en 26.000 veces, de 12 a 15 kgs. cuyo oxígeno es retenido en parte por la sangre y devuelto como bióxido de carbono y vapor de agua. Este alimento esencial, muy superior en peso a los sólidos y líquidos necesarios, lo hemos de aceptar como se halle, sin poder elegir prácticamente, el que respiramos.

Continuamente van a parar a la atmósfera impurezas de todas clases y, también de modo continuo, son eliminadas por los mecanismos autodepuradores del medio, pero cuando la velocidad de contaminación es muy grande, o cuando el proceso depurador es insuficiente, resultan concentraciones excesivas, capaces de influir sobre el estado de salud.

El crecimiento demográfico, el desarrollo de las actividades industriales, de transporte y económicas, la creación de áreas urbanas de fuerte densidad humana y la multiplicación de los vehículos motorizados, han agravado en nuestra época el problema de sanidad pública que es la contaminación atmosférica, creado con el descubrimiento del carbón mineral en Inglaterra en el siglo XII.

Sus efectos han pasado casi desapercibidos hasta que al alcanzar intensidad desacostumbrada, adquiriendo el aspecto de *brumazón* (*) o *smog* prolongado, se observó un aumento considerable en las tasas de morbilidad y letalidad, evidenciándose, de modo indudable, las graves consecuencias acarreadas por la libre emisión de residuos que se pueden considerar en dos tipos físicos, gases o vapores y partículas sólidas o líquidas de tamaño inferior a los 100 μ .

Las partículas pequeñas, de 1 a 10 micrones forman aerosoles de dimensiones respirables, manteniéndose en suspensión y dando tiempo a ser transportadas por los vientos a grandes distancias; no es infrecuente, en el Sur y Sureste de la Península recoger polvillo fino, ro-

(*) El neologismo **smog**, contracción de **smoke** (humo) y **fog** (niebla) se traduce en la edición española de «Contaminación de la atmósfera» de la Organización Mundial de la Salud (OMS; Ginebra, 1962, 156) por **niebla contaminada con humo**. En la segunda edición del «Webster's new international dictionary of the English language» (Springfield, 1956) se da como equivalente, **niebla especialmente densa y oscura por haberse mezclado con el humo de una ciudad**. En el caso, muy conocido, de Los Angeles, en California, el vocablo se refiere a la bruma densa de las áreas, industriales o urbanas, cuyos efectos inmediatos son irritación de los ojos, con lagrimeo, daños en la vegetación y rápido deterioro de los neumáticos, que por su aspecto se cita frecuentemente como **puré de guisantes**, la denominación resulta equívoca, como las anteriores, por referirse a un fenómeno que no se debe a la niebla ni al humo (OMS, op. cit., 187). Según W. Langewiesche («Reader's Digest»; ed. española, Dicbre. 1963, p. 96), la descripción precisa en castellano debiera ser **niebla de humo fotoquímica**.

La palabra **brumazón** que empleamos, figura en el Diccionario de la Lengua Española, como **niebla espesa y grande** que se levanta en el mar; de uso restringido, tampoco traduce el **smog**, pero nos parece, además de breve, suficientemente clara.

jizo, procedente de Africa. La peligrosidad real del polvo muy fino, formado por partículas inferiores al micrón, ha sido ignorada hasta hace relativamente poco, por no alterar la transparencia del aire y comportarse, desde nuestro punto de vista, prácticamente como un gas identificable en ocasiones, por su olor.

Algunas poblaciones y los poderes públicos se han visto sacudidos, en los últimos decenios, por verdaderas catástrofes de las que sobresalen las del valle del Mosa, cerca de Lieja, en 1930; Donora, en Pennsylvania, en 1945; París, en 1951 y Londres, en 1952, a las que nos referiremos más adelante, coincidentes todas con una atmósfera pesada, cargada de partículas corrosivas, consecuencia de un conjunto casi indefinible de fenómenos no observables aisladamente y al que llamamos *brumazón*, forma particular de la polución. Una definición de ésta, muy completa (Garayon-Gentil y col., 1957) es la siguiente: *Hay polución, cuando la composición del aire se aparta sensiblemente de la del aire puro, por modificación cuantitativa de uno o más de sus constituyentes normales o cualitativa por la aparición de sustancias anormales resultantes de la actividad humana en concentración suficiente para afectar, directa o indirectamente, la salud, la seguridad o el confort del hombre o el pleno disfrute de su propiedad.*

Esta definición, como se ve, no comprende, por ser prácticamente incontrolables, la contaminación procedente de fuentes naturales — emanaciones volcánicas, productos de la erosión de rocas, tempestades de polvo, incendios forestales, dispersión de pólenes, polvo procedente del espacio exterior, etc.—. El Comité de Expertos de Sanidad Ambiental de la O. M. S. («Air Pollution»; Informe Técnico núm. 157, Ginebra, 1958) limita también el concepto a la polución producida por el hombre, que describe como debida a la *existencia en la atmósfera, aparte los gases inertes y la humedad, de cualquier sustancia que no tenga una función útil.*

Los residuos radioactivos, en cualquier estado físico, producidos en reacciones nucleares, tratamiento de productos de fisión o isótopos radioactivos, explosiones termonucleares, etc., que se suman a la pequeña radioactividad *de fondo* —radon y thoron de los minerales uraníferos y, en menor cuantía, de torio—, constituyen efluentes nuevos añadidos por el progreso científico y técnico de nuestros días. De tales contaminantes se deriva un riesgo de interés creciente que entra, de lleno, en el cuadro de la polución, al que desborda, considerándolo, por lo tanto, un problema aparte —de vigilancia y control más fáciles— al que se habrá de prestar atención, dado el desarrollo de las fuentes de energía nuclear, ya iniciado en España con los reactores de la Junta de Energía Nuclear, de Madrid, las cuatro centrales en construcción o autorizadas

(una en Vandellós, cerca de Hospitalet, en Tarragona) y los reactores de las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros de Bilbao y Barcelona.

La impurificación del medio ambiental en que vive el hombre varía considerablemente de un punto a otro, aproximándose por sus valores mínimos, al concepto de aire puro, constituido por una mezcla ideal de gases, en los términos señalados por el Académico de la Real de Ciencias de Barcelona, Antonio de Franqués Martí, en 12 de mayo de 1790, al rectificar la dada por Lavoisier trece años antes, y vapor de agua, mezcla cuya composición actual es la siguiente:

Nitrógeno	78'084	± 0'004	%
Oxígeno	20'946	± 0'002	»
Anhídrido carbónico	0'033	± 0'001	»
Argon	0'934	± 0'001	»
Neon	18'18	± 0'04	ppm
Helio	5'24	± 0'004	»
Xenon	0'087	± 0'001	»
Hidrógeno	0'05		»
Metano	2'00		»
Bióxido de nitrógeno	0'5	± 0'1	»

Para que la atmósfera sea confortable, el vapor de agua, no debe exceder de 10'30 g/m.³ a 20°, lo que corresponde a una humedad relativa del 60 %; un exceso influye en muchos de los efectos de la polución y ha de estimarse, por tanto, como constituyente activo de la misma. Aunque el bióxido de carbono, constante prácticamente en el aire no contaminado, no se considera generalmente como polucionante, se ha de tener en cuenta que en las ciudades alcanza concentración superior a la normal y, además, potencia la actividad de otros contaminantes. Su concentración asciende, con tendencia al aumento, a razón de 0'7 ppm/año, admitiéndose que de mantenerse dicho gradiente, en un futuro no excesivamente lejano —en el concepto histórico del tiempo— la temperatura media de la superficie terrestre subirá en 7° C. McKenzie, de la División de Polución del Aire del Departamento de Sanidad de los Estados Unidos, decía en 1963 que *un cambio solo mitad del citado será más que suficiente para ocasionar variaciones muy amplias en los climas; los casquetes polares se fundirán seguramente, inundando las áreas costeras densamente pobladas incluyendo Nueva York y Londres, y bastantes formas de vida serán aniquiladas en tierra y mar.* En París, el contenido medio del bióxido de carbono en la Place St. Gervais ha pasado de 320 ppm en 1891 a 349 en 1959, con aumento medio de 0'44 ppm/año. En cuanto a los efectos sobre el hombre, el profesor Moureu, Director del Laboratorio Municipal de la misma capital, se pregunta si algunos de los

accidentes de tráfico, achacados a etilismo, no se deberán, en realidad, a la llamada borrachera carbónica. Razones todas para considerar al bióxido de carbono, por encima del normal, como contaminante.

El aire que suponemos puro se encuentra únicamente en las cimas más altas y sobre el Océano, a gran distancia de las costas; en las zonas desérticas contiene microorganismos, polvo orgánico y de origen mineral. La impurificación de la atmósfera en el ambiente rural se estima en diez veces superior, con polvo orgánico relativamente abundante en ciertas épocas (pólenes, muchos de nocividad reconocida), treinta y cinco veces en las áreas habitadas de pequeñas dimensiones y hasta ciento cincuenta veces en las ciudades. En todas partes, además, el aire contiene polvo meteorítico que actualmente se detecta en las altas capas de la atmósfera por sondeo con radiaciones laser en la estación británica de Winkefield.

Que la polución es el reverso del progreso es una verdad fundamental ante la que nos resignamos, aceptando la asfixia —nunca mejor empleado el vocablo— de nuestra civilización, como si el progreso, el éxito y el confort los hubiéramos de pagar en suciedad. Sin embargo, sabemos que *la polución es uno de tantos males que no son inevitables* ya que la ciencia nos proporciona medios técnicos para deshacernos de los residuos que otros combates y otras victorias dejaron entre nosotros; un motivo más para que nos atengamos únicamente a la suciedad atmosférica por subproductos de la civilización actual, que aparece como portadora de los gérmenes de su propia extinción.

Cualquier intento para paliar o resolver este problema ha de tener en cuenta las dos características, ya mencionadas, de la vida moderna: la industrialización, base de nuestra economía y el desarrollo urbano, inevitablemente correlativo con el demográfico, que agravan la situación con el tiempo hasta alcanzar dimensión nacional.

Por lo que se refiere a España, baste observar que en el período 1930-60, el número de habitantes por km.² ha pasado de 46'7 a 60'3, continuando la progresión con aumento anual equivalente a una nueva ciudad de 150.000 habitantes; significa más hogares que calentar, más fábricas, más automóviles, necesidades siempre superiores de energía y, naturalmente, mayor producción de residuos. De las actividades de una población, cuyo nivel de vida mejora de año en año, resultará más intensa la polución de nuestra atmósfera, a no ser que se actúe preventivamente.

En las áreas urbanas de las capitales de provincia vive más del 30 por ciento de la población española, concentrándose más de la mitad en Madrid, Barcelona y Valencia que, a fines de 1965, sumaban 5.200.000 habitantes. En el grupo formado por las siete mayores ciu-

dades, el aumento de población fue, en el período indicado, de casi el 82 % y el número de entidades de población de más de 10.000 habitantes que era de 322 en 1930 pasó a 423 en 1960 y continúa ascendiendo lo mismo que sus propios problemas de polución.

Esta se manifiesta tanto más intensamente cuanto mayor es la densidad humana e industrial de las ciudades. Es considerable en las aglomeraciones de 500.000 habitantes o más; ya en 1890 las estadísticas de Manchester señalaban que la vida media de un obrero era diez años más breve que en el campo circundante. Alcanza hoy gravedad incipiente en Barcelona cuyo casco urbano cuenta con 1'7 millones de habitantes y una densidad de 18.681 almas por km.², inferior solamente a la de París (32.000/km.²) pero superior a las de Tokio (16.000) y Nueva York (13.200) que siguen a la capital francesa. En realidad a los efectos de polución y de las medidas preventivas necesarias, deberían sumarse su superficie y población con las de los municipios a los que se une sin solución apenas de continuidad, en los que nuevas fábricas y nuevos procesos químicos que lanzan centenares de productos, casi todos de naturaleza orgánica y de efectos aun desconocidos, toman su lugar en nuestra economía, fuertemente industrializada en toda la región; al mismo tiempo que suponen más puestos de trabajo y nivel superior de vida, se hace más patente la amenaza que pesa sobre la calidad del aire que habremos de proteger *a fortiori*.

NATURALEZA DE LA POLUCIÓN

Entre los innumerables contaminantes que la actividad del hombre evacua al aire, no han sido identificados sino unos cuantos, por dificultades analíticas de aislamiento, identificación y valoración inherentes a la complejidad y labilidad de muchos, a su enorme dilución y a su adsorción por aerosoles existentes.

A la atmósfera van subproductos resultantes de las combustiones, para obtención de calor, producción de vapor, energía mecánica o eléctrica, de los carburantes consumidos por los elementos de transporte, residuos de las industrias petroquímica, siderúrgica, plantas metalúrgicas, fábricas de cemento, electroquímica, productos químicos, abonos, plásticos, cueros, celulosa, etc., de los que resumimos las más frecuentes en la atmósfera urbano-industrial:

GASES	V A P O R E S		P A R T I C U L A S		
	Inorgánicos	Orgánicos	Polvos	Humos	Aerosoles
CO ₂	H ₂ O	H i d r o carbu- ros	Sílice	Carbón	ClNa
CO	NO ₂ H	alifáticos satura- dos y no satura- dos	Fe ₂ O ₃	H i d r o carbu- ros policíclicos	Fe ₂ O ₃
SO		Id. aromáticos	Al ₂ O ₃	Id. cancerógenos	Fluoruros
NO		Aldehídos	CO ₃ Ca	Pireno	SO ₄ H ₂
SH ₂		Cetonas	SO ₄ Ca	Benzantreno	Alquitrán
O ₃		Alcoholes	Otros com- puestos me- tálicos	Fluoranteno	H i d r o car- bu-ros hete- rocíclicos
F ₂ H ₂		Esteres	Cemento	Coroneno	Tiofeno
ClH		Ozónidos	Cenizas	Etc., etc.	
NH ₃		Peróxidos	Asfalto		
		Dvdos. halogena- dos	Caucho		
		Id. nitrados			
		Aminas			
		Mercaptanes			

La mayor parte de estas sustancias suele hallarse a concentraciones sumamente bajas, inferiores a 1 ppm; sólo se encuentran en proporción mayor, el vapor de agua, monóxido y bióxido de carbono y, eventualmente, el anhídrido sulfuroso y los hidrocarburos.

El contenido en polvo, de composición muy compleja, dependiente de la industria en que se produzca, oscila entre 100 y 250 microgramos por metro cúbico. Las partículas más ligeras, suspendidas como aerosoles, juegan papel muy importante en cuanto a las consecuencias de la polución; las gruesas van descendiendo por gravedad, depositándose en el suelo, en el que se evalúan en toneladas por km.² y año; en general no suelen exceder de las 500 pero en algunas áreas la deposición es hasta diez veces mayor, como en las zonas de Komorany y Ostrawa en Checoslovaquia, en las que se miden 3.600 y 6.000 toneladas, respectivamente.

El análisis químico del polvo suspendido como aerosol permite separar sus componentes en una fracción orgánica y otra mineral; en ésta la espectrografía ha demostrado la presencia de más de veinte elementos metálicos, entre los que los más abundantes, expresados en

microgramos por metro cúbico, acusan los siguientes valores medios:

Silicio	6	Titanio	} 0'1
Calcio	3	Estaño	
Aluminio	3	Molibdeno	
Hierro	2'5	Bario	
Magnesio	1	Vanadio	
Plomo	0'6	Níquel	
Manganeso	{ <0'3	Cromo	
Cobre		Arsénico	
Cinc		Plata	

La fracción orgánica (de 35 a 265 microgramos/m.³) se separa por medio de disolventes en fracciones, cada una de las cuales se resuelve en otras por cromatografía. Este mismo procedimiento permite la resolución de la fracción neutra, compuesta por hidrocarburos alifáticos, cíclicos y sus productos de oxidación, del mayor interés en la actualidad por contener algunos compuestos policíclicos de actividad cancerógena probada, entre los que se han identificado el 3,4-benzopireno, dibenzopirenos, pireno, benzoperileno, fluoranteno, benzocrisenos, benzofluoranteno y otros en menor cuantía. Algunas de las olefinas originan por oxidación con ozono productos de gran poder irritante.

De nuestros propios datos, obtenidos entre 1963 y 1965, en Barcelona - ciudad, con 91 km.² de superficie, resultan los siguientes contaminantes, en millares de toneladas al año:

Vapor de agua	2.555'3
Bióxido de carbono	6.315
Monóxido de carbono	281'3
Bióxido de azufre	43'85
Oxido nítrico	4'945
Hidrocarburos (en C ₄)	6'8
Acidos orgánicos (en HCOOH).	0'060
Amoníaco	0'060
Partículas sólidas (polvo)	189

EVOLUCIÓN DE LA POLUCIÓN

Habitualmente tiene lugar en tres fases o tiempos:

- 1) Emisión.
- 2) Dispersión y dilución en la atmósfera, en la que ocurren transformaciones químicas por reacciones de los contaminantes con el medio o entre ellos, de las que resultan trastornos de la salud a escala colectiva, y

- 3) De retorno al suelo, la vegetación o las construcciones y fijación definitiva sobre los mismos.

Vamos a referirnos brevemente a cada una:

1) *Fase de emisión.* — Los contaminantes aparecen *in situ* a fuerte concentración, corroyendo los aparatos en que se originan y los conductos de evacuación a la atmósfera. Si las juntas de las instalaciones son defectuosas, los escapes pueden perjudicar a las personas que trabajan en aquel lugar o que habitan en su vecindad, con intoxicaciones agudas o insidiosas. En este caso, cuando la evacuación del effluente se verifica a poca distancia de viviendas próximas, la polución suele ser más peligrosa para sus habitantes que la chimenea de una fundición situada a 1 km., por ejemplo, y se expresa como *emanación nociva*. Si el contaminante emitido es de olor intenso, puede ocurrir que a concentración muy inferior a la que pudiere considerarse tóxico o peligroso, origine una situación de incomodidad a los que permanezcan en aquel ambiente: *emanación molesta*.

PRINCIPALES FUENTES DE POLUCIÓN

a) *Combustiones.* — La combustión de carbones minerales o petróleo, vital para nuestra sociedad es, y será probablemente durante largo tiempo, la fuente principal de calor y energía eléctrica. Teóricamente los productos finales más importantes debieran ser bióxido de carbono y vapor de agua, vertibles, en principio, libremente a la atmósfera. Pero ni los combustibles son suficientemente puros, ni las condiciones en que se verifica la combustión son, en general, las óptimas, con frecuente defecto de oxígeno; cuando esto ocurre, la oxidación es incompleta, resultando monóxido de carbono, tóxico gaseoso que no se encuentra nunca en el aire puro y que, por ser inodoro y de densidad próxima a la del aire, es doblemente peligroso.

Los combustibles corrientes contienen casi siempre azufre que, en su mayor parte, se elimina durante la combustión como bióxido de azufre que en el aire se oxida o trióxido que pasa, con la humedad, a ácido sulfúrico; éste permanece en la atmósfera en forma de aerosol al que se deben las nieblas que reducen considerablemente la visibilidad y que arrastradas por dilución con las precipitaciones, son causa de los conocidos efectos de corrosión sobre las construcciones.

Los combustibles sólidos contienen materias minerales fijas que son expulsadas en parte, como cenizas, por el tiro de las chimeneas, *cenizas volantes* (carbonatos, sulfatos, fosfatos y silicatos alcalinotérreos y sílice) y caen al suelo lentamente. Además son evacuadas partículas de combustible no quemado y otras alquitranosas que se hallan en el origen, como veremos más adelante, del brumazón que en Barcelona

oculta determinadas zonas de la ciudad vista desde el Tibidabo, disminuyendo el tiempo de insolación y la velocidad de las reacciones de fotosíntesis.

Calefacción doméstica.—La evacuación de gases se hace generalmente a niveles bajos y, por otra parte, el tiro de las cocinas y hogares es frecuentemente deficiente, conteniendo los humos buen porcentaje de partículas carbonosas, de modo que el aire de las zonas muy pobladas es sucio y fuertemente polucionado. Del análisis de la nieve caída sobre Barcelona el día de Navidad de 1962, día festivo, con la industria paralizada en su casi totalidad, dedujimos que cayeron entre 390 y 580 toneladas de polvo (entre 4'2 y 6'3 gramos por m.² en 24 horas!), la mitad de naturaleza orgánica y en gran parte soluble en benceno, que procedía exclusivamente de las instalaciones de calefacción y cocinas particulares. Para el higienista esta enorme cantidad de residuos dispersos en el ambiente es motivo de preocupación porque, como veremos, entre los productos evacuados muchos son tóxicos, algunos se identifican con cancerígenos y todos contribuyen al brumazón. Calculamos en unas 7.500 toneladas el bióxido de azufre vertido al año y aproximadamente el doble (unos 12.000.000 de m.³) de monóxido de carbono por las instalaciones domésticas. A la misma cuenta cabe agregar el polvo que, en un primitivo proceso de limpieza, se lanza tranquilamente al aire exterior.

Combustiones industriales.—Aun cuando va aumentando el número de fábricas que utilizan únicamente combustibles líquidos, quedan todavía instalaciones antiguas alimentadas por carbón mineral, probablemente en mejores condiciones que en las domésticas. Sin embargo, continúan las chimeneas vomitando humos negros cuya formación implica falta de cuidado en cuanto a la salubridad pública y pérdidas económicas que pueden llegar al 25-30 % en empresas pequeñas (*). En todos los casos, los humos y los óxidos de carbono y azufre tienen importancia cuantitativa considerable.

Hemos visto que la central térmica de Escatrón, que utilizaba combustibles de alto contenido en azufre, produce humos con fuerte concentración de gas sulfuroso, apreciable, algunos días, a setenta kilómetros de distancia y que, por oxidación, puede transformarse —teóricamente— en tres veces el peso de azufre quemado, en ácido sulfúrico. De la prensa diaria, en agosto de 1966, tomamos el siguiente párrafo que, aunque un tanto exagerado a nuestro juicio, no queremos comentar: «En pocas horas, el humo despedido por las chimeneas de la fá-

(*) Mientras la combustión incompleta de un átomo gramo de carbón con formación de monóxido de carbono $2 C + O_2 = 2 CO$ produce 29 calorías, la combustión completa a bióxido $C + O_2 = CO_2$, da 97 calorías.

brica ennegrece las fachadas, quema las hojas de las plantas, seca los troncos de los olivos y daña gravísimamente el organismo de los que lo respiran, que son todos los vecinos». Sobre el particular han informado ampliamente los profesores Pérez Argilés y Bastero, de la Cátedra de Medicina Legal de la Universidad de Zaragoza en cuyo dictamen, figuran las siguientes conclusiones:

1.ª Los humos emitidos ocasionan daños directos e indiscutibles sobre la producción vegetal.

2.ª La ganadería resulta también perjudicada, si bien por un mecanismo predominantemente indirecto.

3.ª Los daños causados sobre las personas son de ordinario de muy poca importancia pero en un momento determinado, puede ocasionarse una intoxicación colectiva gravísima, y en todo caso, a la larga en un período de muchos años es presumible un aumento de la cancerización.

Las grandes centrales térmicas de Barcelona queman fuel-oil con contenido en azufre que puede llegar, legalmente, a 3 %. Baste considerar que las entradas de este combustible por vía marítima son del orden de 1.275.000 toneladas al año, de las que se consumen alrededor del 80 % en la Ciudad Condal y, suponiendo una tenencia en azufre mitad de la admisible tendremos una evacuación potencial de unas 30.000 toneladas de anhídrido sulfuroso, transformables en casi 46.000 de ácido sulfúrico.

El gas como combustible.—El empleo de hidrocarburos licuados, creciente a razón del 15 % anual (butano-propano) y gas ciudad (115 millones de m.³ en 1964), cuya combustión es prácticamente perfecta, supone la formación de unas 120.000 toneladas de vapor de agua y 180.000 de bióxido de carbono, no originándose en condiciones ordinarias de utilización monóxido de carbono ni compuestos de azufre.

b) *Otras fuentes industriales.*—Factores de gran significación en la polución del aire urbano, cuya naturaleza depende de la actividad de cada empresa y su evacuación suele ser de localización fácil. En la actualidad, los establecimientos fabriles tienden a situarse en el extraradio ciudadano, caso en que el problema debe tratarse con independencia, relativa, de la polución urbana.

Las centrales mineras, con sus plantas de trituración, clasificación y tamizado de minerales, las coquerías de las zonas metalúrgicas y las fábricas de cemento, constituyen centros importantes de polución por polvos minerales o cemento que recubren de una capa gris o blanca extensas zonas colindantes; cuando se hallan en áreas urbanas, a los efectos —de carácter químico básico— del polvo sobre los tegumentos y por inhalación, se suman fuertes daños económicos por la depreciación del terreno afectado respecto a otros más lejanos. Tenemos ejem-

plos de instalaciones próximas a Barcelona, en Moncada y San Juan Despí; respecto a la última no resistimos la tentación de reproducir una nota de prensa que, en junio de 1966, decía que «el polvillo de cemento cubre todo el polígono y sólo con la instalación de más potentes filtros en la fábrica, podrá ser destinado a zona industrial, pero nunca a viviendas para setenta mil personas que estarían en difíciles condiciones de salubridad».

Otro tanto puede decirse de las industrias metalúrgicas: altos hornos, acererías, fundiciones, etc., que emiten polvo de sílice, alúmina, cal, óxidos de hierro y cinc, carbón y bióxido de azufre. En la conversión de la fundición en acero con oxígeno a presión, se volatiliza algo de hierro, merced a las elevadas temperaturas desarrolladas —de 1.500 a 2.000°— que se condensa en finas partículas formando humos parduzcos de óxido férrico, capaces de oscurecer la luz del sol. En la electrometalurgia del aluminio a partir de bauxita, se facilita el proceso electrolítico por adición de fluoroaluminato sódico o criolita, de la que se volatiliza una parte, condensándose luego en tenues partículas, lo mismo que el fluoruro de aluminio, formando humos densos y aerosoles.

Las fábricas de superfosfatos, tan numerosas en España, emiten vapores de ácido fluorhídrico y otros derivados del fluor, tanto si se parte de minerales fosfatados como de huesos; al mismo tiempo resultan nubes de óxidos y silicatos metálicos en partículas sumamente pequeñas que quedan al estado de aerosoles.

Muchas industrias, como las de extracción de grasas, perfumes, metacrilato de metilo, colas y gelatinas, de preparación de asfalto para pavimentación, etc., producen vapores de olor molesto, que se perciben bien en el NE y NO de Barcelona y que se hallan en el origen de ciertas afecciones asmáticas y cefaleas. Las papeleras y fábricas de celulosa, que parten de la madera como materia prima, evacúan gases y vapores nauseabundos, ricos en ácido sulfhídrico y mercaptanes de olor insoportable; ejemplos a 30 kms. de la Ciudad Condal, las fábricas de Gelida. Las de herbicidas y fitohormonas, las de recuperación de caucho, las de ácido cítrico y butanol por fermentación, emiten asimismo vapores de penetrante olor, característica que, hasta cierto punto, actúa como protección, por cuanto la cantidad detectable subjetivamente suele ser muy inferior a la tóxica. Los depósitos de basuras, cuyo olor denuncia intensa vida bacteriana, forman un capítulo aparte pues además de las molestias referidas constituyen focos de infección si el viento dispersa gérmenes que pudieran ser patógenos.

La imposibilidad material de vivir normalmente en la vecindad de uno de tales centros de polución implica riesgos para el equilibrio

psíquico de los afectados, lo mismo que la frecuente emisión de grandes volúmenes de vapor de agua, como los producidos en la extinción del coque en las fábricas de gas, que se percibían, hasta hace poco, en la zona SE de Barcelona, dan lugar a un aspecto particular a tener en cuenta en la lucha antipolución.

c) *Los motores de explosión y combustión.*— El número de vehículos mecánicos en circulación ha puesto de manifiesto, bruscamente, en nuestro país, la gravedad de la polución a que dan lugar, muy modesta hasta 1960. Hoy promueve la ingerencia de una organización para combatirla, por su impresionante importancia higiénico-sanitaria, en razón de la acción biológica, directa o indirecta, de los contaminantes cuya producción se multiplica por el número de vehículos que discurren por la ciudad, en algunos de cuyos puntos hacen poco menos que irrespirable el aire de la calle.

La mejora del rendimiento *práctico* de los motores ha conducido a repercusiones no descubiertas hasta mucho más tarde; la conveniencia de limitar el volumen de oxígeno para una combustión completa deriva en la emisión, durante su funcionamiento normal, de monóxido de carbono y de otros cuerpos insospechados, gaseosos o no, que luego, por reacciones secundarias hacen del automóvil el más importante precursor del agobiante *brumazón*.

En este punto nos parece oportuno recordar brevemente el mecanismo de los motores —tipos Otto de explosión o Diesel de combustión— que al correr por nuestras calles se convierten en un peligroso enemigo.

Los primeros, se alimentan con una mezcla de gasolina, vaporizada en parte, y aire, suministrada por el carburador, que aspirada a través de la válvula de admisión, llega a la cámara de combustión del cilindro, en el que siempre queda un remanente de los productos de combustión del ciclo anterior. Al final de la carrera del pistón, la temperatura de la mezcla en el interior del cilindro es del orden de los 120°. En el segundo tiempo, la mezcla es comprimida hasta 10-12 kg/cm.² subiendo su temperatura hasta los 350-400°. En un momento óptimo, variable con la velocidad de rotación, es inflamada por una chispa eléctrica, produciéndose la combustión en unas 20-25 milésimas de segundo, con un frente de llama a 2.200-2.300°, aumentando la presión hasta los 50 kg/cm.²; la expansión de los gases determina la impulsión del pistón que, una vez llegado al final de su carrera, inicia la expulsión al exterior de los gases producidos, a través de la válvula de escape.

Los carburantes empleados en estos motores son mezclas complejas que hierven entre 40 y 200°, de hidrocarburos de diversos tipos, de

5 a 12 átomos de carbono, alifáticos de cadena lineal o ramificada, y cíclicos, saturados o no; sus proporciones relativas varían con los sistemas de producción. Sus características se mejoran adicionándoles agentes antidetonantes (tetraetilplomo, metilciclopentadienil-mangano-tricarbonilo), etileno dihalogenado, para evitar la deposición de plomo en los cilindros, antioxidantes, detergentes, lubricantes, colorantes, etc.

Lógicamente parece que los productos de la combustión debieran ser anhídrido carbónico y vapor de agua, inocuos, pero esta consideración no es válida por cuanto ya hemos indicado que el aire se halla en defecto. En un motor moderno se consigue la potencia máxima, referida a la unidad de combustible, con una relación de peso aire-carburante, de 12 ó 12'5: 1, en notable defecto respecto a la cantidad teórica para una combustión completa; como resultado aparecen óxido de carbono y cierta cantidad de hidrocarburos no quemados totalmente.

Consecuencia de las altas temperaturas y presiones producidas en el tercer tiempo en el interior del cilindro, en el que hay lubricante, los aditivos precipitados y residuos semiquemados del ciclo precedente y del papel catalizador jugado por los metales, ocurren una serie de fenómenos secundarios, con aparición de productos de oxidación, alcoholes, aldehídos, peróxidos, etc. Al propio tiempo el azufre contenido en el carburante origina gas sulfuroso y la oxidación del nitrógeno, en las condiciones de presión y temperatura dichas, óxido nítrico. A estas mismas condiciones se atribuyen condensaciones de hidrocarburos con formación de otros cíclicos polinucleares y de sus derivados de oxidación.

Además de los gases de escape, hay otras fuentes de polución en los automóviles: en la ventilación del cárter se eliminan hasta el 20-40 % de los hidrocarburos totales evacuados, que sortean los aros de pistón junto con productos de combustión y lubricante en cantidad que crece cuando se fuerza el vehículo a plena carga o para ascender una pendiente. Los gases de escape y los procedentes del cárter representan un 95 % de la contaminación por los automóviles; el resto es vapor de carburante de los depósitos y del carburador, siempre a temperatura superior a la ambiental, dada su proximidad al motor.

En los motores tipo Diesel, el combustible es inyectado directamente en la cámara de combustión, inflamándose gracias a la fuerte compresión del aire que adquiere temperatura suficiente para ello. El carburante, compuesto por hidrocarburos de 10 átomos de carbono como mínimo, menos volátil que la gasolina, quema en mejores condiciones, dando mucho menos monóxido de carbono cuando está bien regulado el motor; el cuadro cambia si el ajuste no es correcto, si el motor

rueda sobrecargado y en el arranque en frío. En estos casos, el escape contiene abundantes residuos pesados, de olor desagradable, entre los que abundan hidrocarburos policíclicos, algunos cancerógenos.

Con los gases de escape, además de los contaminantes citados, son expulsadas partículas sólidas o líquidas en gotas pesadas que sedimentan rápidamente y aerosoles con compuestos metálicos y hasta 40 ppm de hidrocarburos condensados, entre los que sobresale, por su aparente peligrosidad, el 3,4-benzopireno.

Los contaminantes más importantes, por su cuantía y efectos, son el óxido de carbono, los hidrocarburos y el óxido de nitrógeno, componentes esenciales del brumazón. Sus proporciones relativas varían con el tipo, edad y estado de conservación del motor, de la clase del carburante y del modo de funcionamiento:

	Rodando en vacío	Acelerando	Régimen normal	Decelerando
Monóxido de carbono vol. %	2	2	0'9	1'7
Hidrocarburos (en C ₄) ppm	4.300	5.500	1.400	23.000
Oxido nítrico ppm	20	1.000	300	420

Un cálculo aproximado, para un motor de gasolina de potencia media, da por litro de carburante unos 35 m.³ de gases cuyos componentes más importantes son:

Anhídrido carbónico	2.200	g.
Vapor de agua	1.260	»
Monóxido de carbono	280	»
Oxido nítrico	5	»
Bióxido de azufre	1'5	»
Metano	3	»
Parafinas (en C ₄ H ₁₀)	24	»
Olefinas (en C ₂ H ₄)	5'2	»
Acetileno	3'3	»

Algunas de estas sustancias, aparte su poder agresivo propio, intervienen en reacciones fotoquímicas en la atmósfera de las que resultan nuevos contaminantes.

Es fácil calibrar, a la vista de los datos precedentes y de los efectos conocidos de algunos de los contaminantes sobre el organismo humano, el papel del automóvil, cuando se halla en gran número, en la impurificación del ambiente urbano. Se estima que en Los Angeles y su zona metropolitana, con 3'2 millones de vehículos en 1960, el 64 % de la polución por hidrocarburos, el 61 % del óxido nítrico, el 79 % del monóxido de carbono y el 10 % del gas sulfuroso, produc-

tos todos nocivos, provienen de tal origen. El óxido de carbono, fuertemente peligroso se hace patente cuando los motores giran en un local mal ventilado o en un túnel; por la importancia del riesgo inherente y por ser el contaminante mayoritario de los gases de escape lo hemos propuesto como sustancia testigo para situar el nivel de la polución imputable a la circulación de automóviles.

Se ha podido así comprobar en las grandes ciudades europeas y norteamericanas que en distritos de escasa circulación la polución es ínfima y despreciable siempre a la altura de un segundo piso, en los espacios verdes y jardines públicos (en los del Luxembourg y Monceau, de París, 3 ppm). En cambio, en puntos o cruces de intenso tráfico, se han medido 72 ppm en Los Angeles, 10 (1956) y 15 (1959) en París, de 50 a 80 en Londres, 50-60 en Frankfurt a/M. y de 110 a 160 en el túnel Holland, de Nueva York. Excepcionalmente se han registrado 257 ppm en el túnel Sumner, de Boston, por el que circulan 35.000 vehículos diariamente, y hasta 500 ppm en Los Angeles y Londres, durante los brumazones.

LA POLUCIÓN EN AMBIENTES CONFINADOS

Cuando la emisión de contaminantes tiene efecto en un local cerrado o insuficientemente ventilado, las primeras en experimentar sus efectos agresivos, son las personas que habitan o trabajan en aquel ambiente. En los establecimientos industriales, los obreros se hallan expuestos a la polución originada en los mismos y, además, a los residuos atmosféricos difundidos en sus locales.

Las operaciones de carga y descarga de materiales pulverulentos, el cardado del algodón, pulido y lijado de piezas metálicas, la limpieza por proyección de arena, etc., enturbian el ambiente con partículas sólidas de las que las más finas pueden alcanzar el fondo alveolar y ser origen de neumoconiosis o actuar como alergógenos.

En ocasiones se observan efectos tóxicos inesperados, cuyas causas directas son escapes inadvertidos de gases o vapores orgánicos en talleres de pintura o de lavado en seco; otras veces deben atribuirse a la putrefacción de materias fermentescibles. Sin embargo, la mayor parte proviene de combustiones en locales con renovación deficitaria de aire; salas de calderas, talleres de reparación y comprobación de motores, automóviles que se mueven en garajes o centros subterráneos de estacionamiento o en edificios de pisos, en los que a las horas de mayor movimiento se encuentran hasta 200 ppm de monóxido de carbono. Cuando, excediéndose la concentración límite de seguridad (CMA), se llega ocasionalmente a las 1.250 ppm se observan indisposiciones temporales, cefaleas y vértigos, evidenciándose en todos los casos el papel

de las condiciones de ventilación del local. Hemos tenido ocasión de conocer intoxicaciones graves, colectivas, por escape de ácido sulfhídrico o por benzolismo, en naves industriales mal ventiladas.

Los efectos de la polución dependen del poder tóxico o agresivo del contaminante, de su densidad y concentración y del tiempo de inhalación o permanencia en el lugar polucionado. El producto de los dos factores citados en último lugar es, según Haber, de efectos molestos o patológicos constantes y es determinable experimentalmente. La estancia en un ambiente contaminado durante la jornada laboral ordinaria de ocho horas —tiempo normal en higiene industrial— supone fenómenos de acumulación o tóxicos cuando la concentración sobrepasa de cierto límite que, teniendo en cuenta los casos de hipersensibilidad, efectos sinérgicos, etc., a los que nos referiremos más adelante, se afecta de un coeficiente de seguridad que, aunque variable con el tipo de tóxico, es, en general, del orden de 1/3 (Concentración máxima admisible, CMA).

Tales límites, referidos siempre a un contaminante único, han sido adoptados por diversos países, aunque con valores distintos algunos, bien por considerarlos en función de efectos también distintos o por haberse deducido de la práctica industrial o determinado experimentalmente sobre especies animales de sensibilidad diferente sin que puedan admitirse, sin reservas, para el hombre. Por otra parte, la polución atmosférica se revela cada día de mayor complejidad, aun en los casos aparentemente sencillos como los debidos a hidrocarburos o al bióxido de azufre, cuando se hallan en presencia de otros contaminantes, lo que ocurre siempre. Esto explica la variación de los límites de CMA que van bajando a medida que se progresa en el conocimiento de sus efectos. Por lo tanto, dichos límites, puramente indicativos, se corrigen periódicamente en las reuniones, nacionales o internacionales, convocadas al efecto, hallándose siempre sujetos a revisión.

Tabulamos los límites vigentes en varios países (1) y en España para algunos contaminantes, expresados en mg/m³:

Substancias	U. S. A. (2)	Inglaterra (3)	U. R. S. S. (4)	Alemania (5)	España (6)
<i>Gases y vapores tóxicos (7)</i>					
Acetaldehído	360	360	5		360
Acetona	2400	960	200	2400	2400
Ac. clorhídrico	7	15	10	7	7
Ac. cianhídrico	11	11	0'3	11	11
Ac. fluorhídrico	2	1'7	0'5	2	2
Ac. acético	25	50	5	65	25
Ac. sulfhídrico	30	30	10	30	30
Acroleína	0'25	12	0'7		1'2
Alcohol etílico	1900	1900	1000	1900	1900
Alcohol metílico	260	260	50	200	260
Amoniaco	35	70	20	70	70
Anhídrido sulfuroso	13	26	10	13	13
Anhídrido carbónico	9000	9000		9000	9000
Benceno	80	160	20	70	110
Cloro	3	3	1		3
Cloruro de vinilo	1300	1300	30	1300	1300
Eter	1200	1500	300		1200
Formaldehído	6	12	1	6	6
Gasolina	2000		100	2000	2000
Nitrobenceno	5	5	3		5
Monóxido de carbono	110	58	20	110	110
Ozono	0'2		0'1	0'2	0'2
Oxícloruro de carbono	4	2	0'5	0'4	4
Tetraetilplomo	0'075		0'005		
Sulfuro de carbono	60	30	10		60
Tetracloruro de carbono	65	320	20	65	160
Tolueno	750	380	50	750	750
Tricloretileno	520	1050	50	260	520
Xileno	870	440	50	870	870
Tetracloroetano	35	70		7	35
<i>Polvos, humos y neblinas (8)</i>					
Antimonio	0'5	0'5			0'5
Anh. arsenioso	0'5	0'5	0'3		0'5
Plomo	0'2	0'15	0'01		0'15
Acido sulfúrico	1	1	1		1
Oxido de cinc	15	10	5		15
<i>Polvo industrial (partículas/cm.³)</i>					
Sílice (cuarzo)	170				150
Id. (amorfa)	1700				1500
Silicatos:					
con 5-50 % SiO ₂	700				600
con menos de 5 %	1700				1500
Fe ₂ O ₃ (humos pardos)	15				15
Cemento	1760				1765
Amianto	170				150

2) *Fase de suspensión en la atmósfera.*—Durante este tiempo, el contaminante se muestra de agresividad variable para los seres vivos, sobre todo para los que la inspiración mecánica de aire es una necesidad vital, según su naturaleza y circunstancias meteorológicas, de las que dependen en gran manera, su difusión y dilución.

Aunque los fenómenos tóxicos son más raros que en la fase de emisión manifestándose frecuentemente por síntomas indefinidos, otras veces aparecen con carácter colectivo, afectando al conjunto de una población y haciéndose más sensibles las repercusiones de la polución sobre su estado sanitario.

Mientras ciertas aglomeraciones industriales disfrutan de una atmósfera relativamente limpia, en otras bastan unas cuantas fábricas para sumergirlas en un mar de humo o de bruma. En un mismo lugar, a igualdad de polución, su intensidad cambia con los días y, en ocasiones, con cielo despejado y situaciones meteorológicas aparentemente idénticas. Rouzé, señala la paradoja que se manifiesta cuando la valoración de contaminantes demuestra una pequeña concentración, sin relación alguna con la magnitud del aumento de morbilidad y mortalidad atribuidos, precisamente, a la polución. La acción irritante del bióxido de azufre sobre las membranas oculares, los daños a la vegetación, el deterioro y cuarteamiento del caucho vulcanizado, no se deben a los contaminantes lanzados al aire, sino a los producidos por ulteriores reacciones fotoquímicas y efectos de sinergia de éstos con los primeros.

(1) Los valores CMA, de concentración máxima admisible, aparecen en la literatura científica extranjera y en algunas traducciones españolas precedidos de las siglas MAC (maximum allowable concentration o maximum acceptable concentration - American Standards Association), MAK (maximale Arbeitsplatzkonzentration - concentración máxima en el puesto de trabajo), MPC (maximum permissible concentration).

(2) XXV Congreso Higienistas Industriales Gubernamentales, 1963.

(3) Laboratorio Investigaciones de la Imperial Chemical Industries, Ltd.

(4) «Gigiena i Sanitaria», 1959, núms. 7 y 11 y 1962, núm. 7.

(5) Comm. Deutsche Forschungsgemeinschaft, 1963.

(6) Reglamento de Actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas; Decreto Pres. Gno., 30/11/61, «B. O. E.», 7/12/61 y 7/3/62. Se observa que en las legislaciones española y alemana se siguen, con mucha aproximación las normas americanas.

(7) El concepto **vapores** incluye los de sustancias sólidas o líquidas que pasan de uno o otro estado por cambio de temperatura.

(8) Los **humos** están formados por partículas sólidas generadas por condensación del vapor de sustancias sólidas originado por fusión, por sublimación o como consecuencia de reacciones químicas. Las **nieblas** están constituidas por partículas líquidas resultantes de reacciones químicas, condensación de vapores o por desintegración mecánica de líquidos; si la presión de su vapor es pequeña o el aire está saturado, quedan como esferillas en suspensión. Los **polvos** se producen por desintegración mecánica de sólidos. Estos tres tipos de polución son los causales de la disminución de visibilidad.

Las partículas sólidas o vesículas líquidas emitidas por las chimeneas caen en las proximidades, pero las de tamaño inferior a 20 micrones quedan formando nieblas o aerosoles, cuya estabilidad es función de las condiciones atmosféricas. Las más finas, de un micrón o menos —halogenuros de plomo, óxido férrico—, difunden como los gases, influyendo en su dispersión factores meteorológicos y geográficos.

Factores topográficos.— La situación de un área favorece o no la dispersión de los contaminantes emitidos por las fuentes locales; la polución puede ser poco importante para una aglomeración situada en el llano —caso de Madrid— o en la desembocadura de un río en el mar. En cambio, es más intensa en otras edificadas en un valle, tanto más cuanto más estrecho. Cuando el relieve de la ciudad es accidentado, como ocurre en Barcelona, las variaciones se aprecian entre los distritos; basta un simple paseo para observar distintos *microclimas*. Estas particularidades permanentes han de ser tenidas en cuenta antes de autorizarse una nueva industria.

Factores meteorológicos.— Constituye el estudio de la difusión de los contaminantes del aire, una ciencia todavía joven, basada en la mecánica estadística aplicada a la atmósfera. El mecanismo más efectivo de la dilución de contaminantes es la *turbulencia*; los parámetros a utilizar en las ecuaciones planteadas para conocer la complejidad de los fenómenos de difusión y transporte a gran distancia de los agentes de polución, son la velocidad, dirección y variaciones estacionales del viento —componente mecánico de la turbulencia— y la estructura termodinámica y estabilidad de las capas de aire a escala restringida, regional o, cuando las condiciones orográficas sean desfavorables —como en Barcelona—, local. La acumulación de contaminantes a nivel del suelo resulta casi siempre de un fenómeno particular, el llamado *inversión de temperatura*.

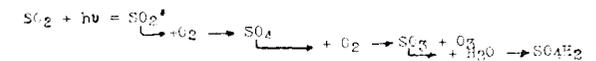
El brumazón.— Al ponerse el sol, se enfría el suelo con rapidez, haciéndolo también las capas inferiores de aire, en espesor que aumenta en el transcurso de la noche, sobre las que el aire puede quedar a temperatura más alta; cuando esto ocurre, se ha invertido la distribución vertical de temperaturas, amortiguándose los movimientos convectivos y creándose una situación de estabilidad atmosférica. En días despejados, al llegar el calor solar a la superficie, se inician movimientos de convección que dispersan gradualmente el aire polucionado. Si el fenómeno es de poca intensidad, al mezclarse rápidamente las capas inferiores, la polución puede descender, lo que se conoce por *fumigación*. Si el cielo está cubierto, actuando las nubes como filtro de las radiaciones largas, se prolonga la estabilidad, aumentando, con la actividad humana, la polución que se suma a la del día anterior; entre-

tanto, bajo la energía de las radiaciones cortas, se produce el *brumazón* o *smog* que la densidad demográfica, el número de vehículos y un elevado estado higrométrico, hacen más patente en los distritos del NE de nuestra ciudad, protegida por la barrera montañosa del Tibidabo.

La formación del brumazón, mal explicada todavía, se atribuye a la interacción de los contaminantes con el oxígeno y ozono durante el día, no apreciándose durante las horas nocturnas. Según Haagen-Smit (1952) se producen reacciones de activación fotoquímica y de fotólisis con los gases de escape de los automóviles —anhídrido sulfuroso, aldehídos y óxidos de nitrógeno, contaminantes que no faltan nunca en el brumazón— y en las que intervienen radicales libres.

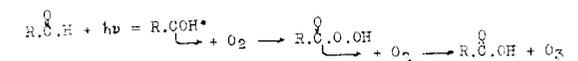
El ozono se origina en múltiples procesos en cadena de los que son los más importantes, los de oxidación del bióxido de azufre a sulfúrico, de los aldehídos a ácidos y la combinación del óxido nítrico con el oxígeno.

El bióxido de azufre absorbe las radiaciones de longitud de onda próxima a los 315 mμ, oxidándose un tercio aproximadamente a ácido sulfúrico con aparición de ozono:

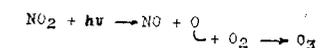


En presencia de metales catalizadores (óxidos de hierro, vanadio y níquel, contenidos en el humo de carbón), la reacción se verifica aún en ausencia de luz solar, con velocidad que depende de la presión parcial del SO₂ y de la naturaleza, concentración y tamaño de las partículas de catalizador.

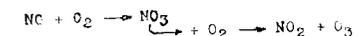
El ozono resulta también de la oxidación de aldehídos, en condiciones parecidas, con formación de un ácido:



Blacet propuso en 1952 la hipótesis de la fotólisis del bióxido de nitrógeno dando óxido nítrico y oxígeno atómico que, con el oxígeno molecular daría ozono:

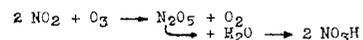


regenerándose el bióxido de nitrógeno a través de un mecanismo que supone la formación de NO₃, N₂O₃ y N₂O₅ como intermediarios, liberándose una nueva cantidad de ozono:



explicándose así la importancia del papel que los óxidos de nitrógeno juegan en la polución, ya que pequeñas cantidades de bióxido pueden dar lugar a otras, mucho mayores, de ozono, a cuya acción sobre los hidrocarburos, con formación de ozónidos, sumamente irritantes y más tóxicos que el propio oxidante, se deben los efectos del *brumazón oxidante* (Los Angeles) durante las horas diurnas. El NO_2 , por su parte, oxida fotoquímicamente a los hidrocarburos a aldehídos, cetonas y alcoholes.

Las neblinas que reducen la visibilidad se deben a los ácidos sulfúrico y nítrico resultantes del proceso descrito y de la oxidación del bióxido de nitrógeno por ozono



y que sumándose al humo y demás contaminantes dan su carácter especial al combinado diabólico al que hemos llamado *brumazón*.

Tales fenómenos se prolongan en tanto dure la inversión de temperaturas que impide la dispersión de la polución. La bruma natural, constituida inicialmente por aerosoles de sal procedente del mar y de polvo, se carga de humos y gases de las combustiones y demás actividades, acumulándose en la capa de aire inmovilizada inmediatamente debajo de la base de la capa de inversión los días de calma. Durante la situación así creada se observan repercusiones sobre la salud muy superiores a la suma de las correspondientes a cada uno de los contaminantes por separado. Esta sinergia ha sido comprobada experimentalmente entre el bióxido de azufre y los aerosoles de ácido sulfúrico, cloruro sódico o polvo —muy activo en la formación del *brumazón*— como consecuencia directa de la adsorción de gases sobre núcleos de condensación de 0.25 a 10μ , capaces de penetrar hasta el fondo alveolar, emitidos por las fábricas de cemento, de carburo de calcio, de ferrosilicio, de acero, con 40 a 90% de partículas inferiores al micrón. Los aerosoles de hidrocarburos alifáticos absorben asimismo otros contaminantes con aumento de su poder agresivo sobre los órganos respiratorios.

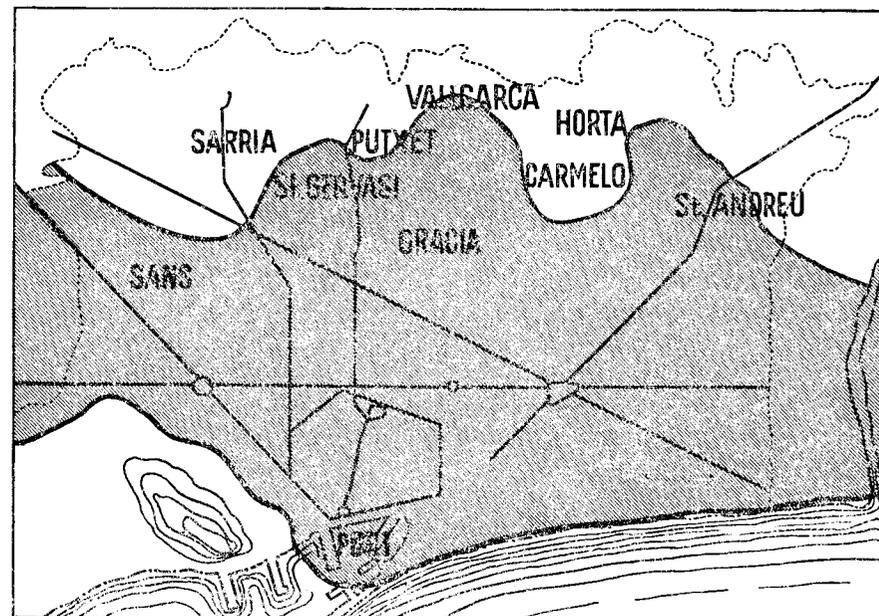
Cuando la polución es originada, en parte, por combustibles sólidos, las partículas de hollín que emergen de las chimeneas contienen entre el 6 y 12.3% de ácido sulfúrico, llegando, excepcionalmente, al 20% ; una suspensión acuosa al 2% del hollín, acusa un pH de 0.8 a 1.5 (*brumazón ácido* de las zonas siderúrgicas Pittsburgh, Londres, Donora).

La lucha contra el *brumazón* exige ante todo conocerlo y establecer la correlación entre las concentraciones de ciertos contaminantes y

la morbilidad, tarea sumamente larga e ingrata y con características particulares en cada una de las zonas afectadas.

El brumazón en Barcelona.— El problema de la polución atmosférica en Barcelona es, sin duda, uno de los más graves de España. En nuestra ciudad, islote de calor por su situación topográfica y enorme consumo de combustibles, se da como viento dominante del año, el del Suroeste; en consecuencia, todo foco contaminador, industria, vivienda o vertedero de basuras que se instale entre Montjuich y Hospitalet pasará sus emanaciones tóxicas por el aire de la urbe. Además, como el viento, a la altura del Tibidabo es, con frecuencia, de Levante, es evidente que también quedarán afectadas las laderas de la cadena litoral.

La situación topográfica, tantas veces mencionada, favorece en determinadas épocas un aumento progresivo en la concentración de la polución, unas veces por el permanente anticiclón invernal, con vientos débiles que producen el descenso de masas de aire hacia el suelo y otras, por la inversión de temperaturas en las capas inferiores en todo el llano de la ciudad, circunstancia que se da en la mayoría de brumas matinales de la zona baja y sus distritos industriales. Durante



Zona de brumas del Llano de Barcelona, durante las primeras horas del anticiclón de invierno. La línea de puntos marca el límite de la zona edificada (De Gabriel Campo; Miscellania Fontseré, Barcelona, 1961, p. 103).

los períodos anticiclónicos o de altas presiones, el brumazón queda particularmente concentrado en el espacio comprendido entre Pueblo Nuevo, Clot, Gracia, Las Cortes y Sans, disfrutando los habitantes de las zonas altas de una atmósfera de mayor diafanidad que permite lleguen a las mismas los efectos bienhechores de los rayos del sol.

Las brumas antes citadas que no sobrepasaban hace 15-20 años la altura de la calle de Aragón, alcanzan hoy hasta por encima de la línea que marca la Diagonal. Afortunadamente los períodos peligrosos no son muy frecuentes porque durante la mayor parte del año, el sol determina el aumento de turbulencia y vientos que desplazan las impurezas, impidiendo su acumulación; pero en días de estabilidad atmosférica, como en los 7 y 8 de septiembre y del 23 al 26 de noviembre de 1966, el fenómeno es muy perceptible en la parte alta de la Diagonal y en la zona litoral del NE, con visibilidad limitada en algunos puntos a los 200-500 metros.

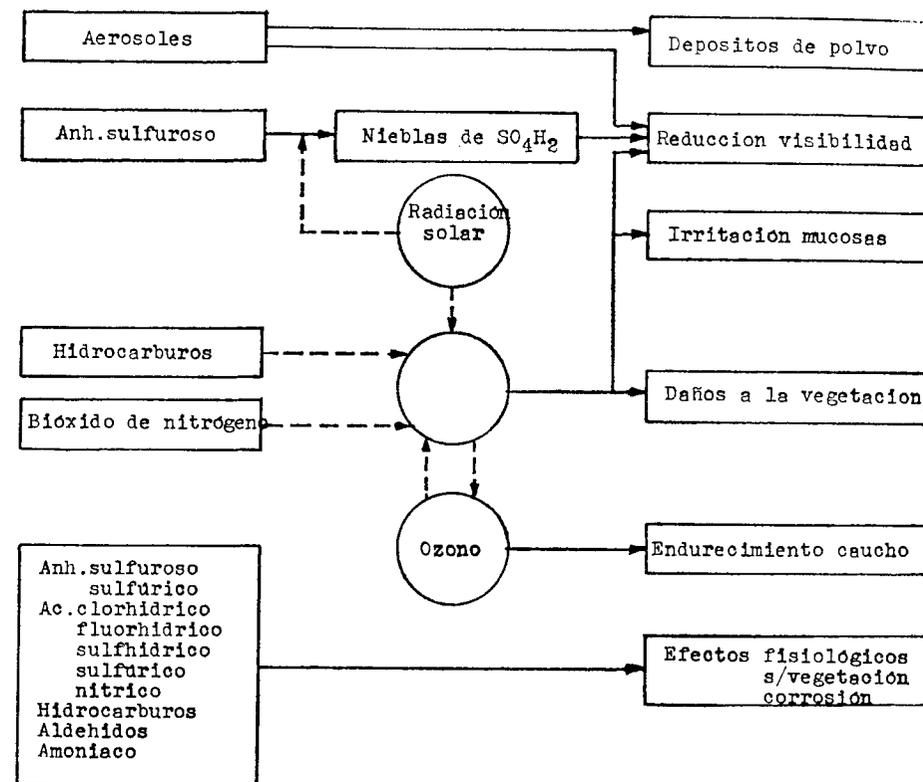
3) *Fase de sedimentación.* — La dispersión de los contaminantes en la atmósfera no los elimina, sino que los diluye hasta concentraciones no peligrosas, salvo en los períodos de estabilidad, en los que llegan a ser intolerables para el hombre. Sin embargo, los contaminantes o las partículas, en el estadio final de la polución, después de su coalescencia, son arrastrados o disueltos por las precipitaciones, hasta el suelo, la vegetación o las construcciones en los que se produce su fijación irreversible. Las materias depositadas son corrosivas cuando su actividad química tiene un valor positivo respecto al soporte, o lo recubren de una capa alquitranosa que necrosa los tejidos vegetales, fijación que puede ser de consecuencias indirectas para los seres vivos ya que las hojas contaminadas ingeridas por los herbívoros son tóxicas por las sustancias sedimentadas.

II

EFFECTOS DE LA POLUCIÓN

Expondremos con algún detalle los daños, ya mencionados de pasada, atribuibles a la polución, y que afectan a edificios e instalaciones, a la vegetación, a los animales y al hombre, autor y víctima, a un tiempo de esta calamidad.

Sus efectos inmediatos en las aglomeraciones urbanas dependen de la concentración de los contaminantes y de la presencia simultánea de varios, siendo muy intensos cuando adquiere el aspecto del *brumazón* y que se resumen en el gráfico:



La reducción de visibilidad. — Ya se ha hecho mención del papel desempeñado por las nieblas o brumazón ácidos en la disminución de la visibilidad que llega a ser tan efectiva que exige la iluminación artificial en pleno día en Londres y hasta hace poco en Pittsburgh, ciudad en la que los humos de la industria metalúrgica son de una opacidad excepcional y que, antes de adoptar las medidas antipolución a que luego nos referiremos, anulaban la visibilidad a 1 km. durante más de 1.000 horas anuales.

La correlación entre la falta de visibilidad y la polución ha sido comprobada en París, en cuyo Parc St. Maur el número de días con visibilidad inferior a 2.000 metros ha subido desde 23 en 1873 a 45 en 1945 y 125 en 1958, continuando la progresión.

La situación en Barcelona no es muy favorable en cuanto a la visibilidad, a la que ya nos hemos referido incidentalmente, y que se observa de modo particularmente intenso en los distritos del NE y SO de la ciudad durante las primeras horas de los días de *brumazón*.

La disminución de la radiación solar. — Es tanto más notable cuanto más alta es la concentración de sustancias suspendidas en la atmósfera, calculándose que la radiación recibida en el suelo no pasa en las grandes ciudades del 75 % de la normal hace sesenta años. En nuestra ciudad, Campo calcula un tiempo de insolación mayor en las zonas más altas y alejadas del mar, observándose que en las mismas la pigmentación de la piel es más rápida.

Daños a las conducciones eléctricas. — El agua atmosférica condensada, durante el enfriamiento nocturno, sobre los aisladores de vidrio, retiene los aerosoles, modificando la resistencia de aquéllos de lo que resultan trastornos en la transmisión de energía eléctrica a altas tensiones y en las líneas telegráficas y telefónicas.

Sobre los edificios. — A las partículas de alquitrán y hollín, fuertemente ácidas, se debe la pátina oscura que ensucia las edificaciones, típica de las regiones industriales y la alteración destructiva de fachadas y monumentos de mármol o piedra de talla calcárea en la que la corrosión hace desaparecer los detalles escultóricos. A la corrosión en zonas húmedas, contribuye el bióxido de carbono atmosférico, cuya concentración ha aumentado considerablemente en las aglomeraciones industriales, hasta triplicar en días de *brumazón* la normal. La acidez atmosférica (ac. sulfúrico, nítrico, carbónico, orgánicos) actúa sobre las estructuras metálicas corroyéndolas con rapidez; las de acero, sometidas al *brumazón* ácido de Pittsburgh, tienen una duración media de 7 a 10 años contra 23 en el medio rural próximo. Otro ejemplo patente de corrosión de elementos metálicos y material calcáreo a un tiempo lo ofrece el monumento a Colón del Puerto de Barcelona, que hace muy poco ha debido ser restaurado.

Hasta el vidrio es objeto de la agresión de los gases ácidos y de el polvo abrasivo arrastrado por el viento, acción que muy recientemente ha demostrado el microscopio electrónico.

Sobre la vegetación. — La polución provoca daños que repercuten sobre la producción agrícola y forestal y las zonas verdes tan necesarias en las ciudades para el mantenimiento de la salud moral y física.

En las grandes aglomeraciones urbanas, el polvo y las cenizas volantes, se adhieren a las hojas, junto con hidrocarburos y alquitranes, de modo resistente a las lluvias, obturando los estomas y debilitando, consecuentemente, al vegetal. El etileno y el monóxido de carbono que se halla en el aire o que escapa de las conducciones subterráneas de gas del

alumbrado, son origen de dificultades respiratorias por bloqueo de la auxina, acelerando exageradamente la caída de las hojas y botones florales, con raquitismo y muerte de especies arbóreas tan resistentes como los plátanos, como se observa frecuentemente en nuestras calles.

Los ensayos de crecimiento en la oscuridad con agua pura o que contenga ácido indol-acético, se modifican en alto grado cuando se opera en una atmósfera que contenga tan solo 10^{-8} a 10^{-7} de etileno o 10^{-6} de óxido de carbono. En París, ciudad de situación geográfica privilegiada, de ambiente no excesivamente polucionado, las *pawlonias* de la Place d'Italie mantuvieron su cielo normal de floración hasta 1927; con el aumento de circulación automóvil llegó a cesar completamente en 1939. Sobrevenida la guerra y reducido en extremo el tráfico, florecieron de nuevo normalmente hasta 1947, en que se anuló de nuevo por caída de los botones florales antes de la floración; se trata de una reacción característica y de gran sensibilidad para el óxido de carbono y el etileno.

El *brumazón* de los grandes centros industriales inhibe la formación de clorofila y auxina; el sistema hexeno-ozono es capaz de quemar necrosándolas las hojas de las plantas de follaje frágil, a la concentración de 10^{-8} . El *gazón* muestra en todas las hojas una línea transversal, blanca por la falta de pigmento, que se aprecia a los pocos días y que corresponde al punto de emergencia del suelo al sobrevenir el fenómeno, observación biológica de utilidad en la medición de su intensidad y duración.

La polución por anhídrido sulfuroso, poco activo sobre la vegetación a la concentración a que se halla en las ciudades es de graves efectos cuando una industria quema grandes cantidades de combustibles ricos en azufre; sus consecuencias corrosivas llaman la atención por la rapidez con que anulan la productividad en las zonas próximas al centro de emisión. Como ejemplo dramático reiteramos el de Escatrón (Zaragoza) y que, en la dirección dominante de los vientos, ha desaparecido la vegetación en una amplia zona. Las hojas se necrosan al brotar, se lesionan los órganos florales y se anula la fecundidad, caso de muchas rosáceas y cereales. A este tipo de polución se deben el decaimiento y desaparición de áreas forestales, especialmente de coníferas, más sensibles que las especies de follaje anual.

Las emanaciones fluoradas que produce inevitablemente, al parecer, la electrometalurgia del aluminio, provocan a concentraciones increíblemente bajas (10^{-10}), lesiones características cuando el análisis químico es incapaz de detectar el contaminante. Las abietáceas son muy sensibles a la fluorosis; el ácido fluorhídrico evacuado por el complejo minerometalúrgico de Freiberg, en Sajonia, aniquiló el arbolado

próximo, hallando el análisis hasta 50 ppm de F en las hojas, treinta veces la tasa normal máxima. Una chimenea de 150 metros, construida hace ya setenta años (Halsbrücke Esse) permitió la repoblación actualmente próspera del área afectada. Otro tanto ocurrió en el valle del Maurienne (Champagne, Francia) en el que desaparecieron las especies resinosas. En Tennessee, cerca de Oak Ridge, al trazarse los mapas de polución de las zonas en que los pinos perdían sus agujas, muriendo prematuramente, apareció claramente que el desarrollo de la enfermedad iba ligado a la existencia de ciertas instalaciones industriales que lanzaban residuos que contenían S y F al aire.

En estos casos, además de los efectos mencionados, directos, se producen otros ocasionados por los tóxicos de la polución que, arrastrados por las lluvias, se incorporan al suelo del que luego son absorbidos por el vegetal.

Sobre los animales.— No se diferencian esencialmente de los experimentados por el hombre en las zonas urbanas.

En las regiones rurales, la polución suele ser, salvo excepciones, una pequeña fracción de la registrada en las ciudades, en las que sólo sufren sus consecuencias los animales domésticos y los confinados en parques zoológicos. Únicamente las fuentes importantes de polución rurales dejan sentir sus efectos en zonas más o menos extensas, según el contaminante, la dirección del viento y su distancia al centro emisor. La electrometalurgia del aluminio se manifiesta sumamente perjudicial para los bóvidos que pascen en áreas contaminadas por compuestos fluorados, que causan lesiones óseas y en el aparato masticador, caquexia y alteraciones genéticas, comprobadas en el valle del Maurienne. La misma polución reduce el rendimiento en cera y miel de las explotaciones apícolas con gran mortalidad por intoxicación aguda de las obreras en primavera, época de la floración, debilitándose progresivamente las colonias por intoxicación crónica con la miel de que se alimentan; los insectos muertos acusan un contenido en fluor de 25 a 30 veces el normal.

La ganadería se ve, asimismo, afectada por el polvo de cemento, fuertemente básico, que acarreado por el viento, contamina los forrajes; el ganado vacuno que se alimenta con éstos, enferma, disminuyendo la producción lechera en las zonas contaminadas por las fábricas.

Sobre la salud humana.— Puede asegurarse que los residentes en las grandes ciudades poseían aun antes de que se iniciara el estudio científico del problema, cierto conocimiento empírico sobre la nocividad de la polución, ya que la suciedad atmosférica constituye, *per se*, un agresivo permanente para los ciudadanos que la respiran. Aunque

no se derivasen consecuencias patológicas, los malos olores, las molestias respiratorias y la falta de visibilidad, han justificado, desde hace mucho tiempo, el deseo de huir a los espacios verdes próximos o a la orilla del mar.

El hombre absorbe parte de los contaminantes atmosféricos a través de la piel, por contacto con los ojos, nariz y boca y, sobre todo, por vía pulmonar, penetrando los tóxicos gaseosos y las partículas de menos de 5 μ , hasta el fondo de los alvéolos pulmonares. Las mayores, son retenidas a nivel de las vías altas y expulsadas por la reacción orgánica de defensa.

Hemos dicho ya que las repercusiones de orden sanitario son en ocasiones muy superiores a las que eran de esperar para la suma de contaminantes presentes, considerados por separado. Experiencias con voluntarios que respiraron en un ambiente con 0'62 ppm de SO₂ y, luego e independientemente, con 0'27 ppm de SO₄H₂, no presentaron trastorno alguno en el ritmo respiratorio ni en el cardíaco; asociados ambos tóxicos a las mismas concentraciones se aceleraron inmediatamente la respiración y el pulso. Esta evidencia de la sinergia entre contaminantes se observa en los efectos agudos del brumazón.

Además del sistema SO₂-SO₄H₂ citado, se potencializan mutuamente los aerosoles de cloruro sódico con el anhídrido sulfuroso o el formaldehído, el ácido sulfhídrico con el óxido de carbono y los vapores de sulfuro de carbono o ácido cianhídrico, los hidrocarburos y los agentes irritantes, etc.: en ciertos casos el fenómeno se muestra de signo contrario por ejemplo, en los sistemas SH₂-O₃, mercaptanes-bióxido de nitrógeno, etc.

El polvo.— Origina irritación en grado dependiente claramente de su composición química y de la relación entre la superficie libre y la masa de las partículas, que facilita cuando es grande, la acción de los flúidos orgánicos y su subsiguiente absorción; naturalmente, a igualdad de condiciones es proporcional al número de partículas por unidad de volumen. Buena parte de las partículas de polvo de pequeñas dimensiones, carecen de toxicidad, como ocurre con el carbón o el óxido férrico, pero algunas, especialmente las ricas en sílice, son causa de la temible silicosis, dolencia típica de los mineros; el tejido pulmonar pierde elasticidad, se sensibiliza a los virus y gérmenes patógenos y disminuye sensiblemente la ventilación. Cuando el polvo lo forman partículas de carbón, los tejidos respiratorios adquieren una pigmentación oscura, antracosis pulmonar, frecuente entre los habitantes de poblaciones mineras, como en Nashville (Tennessee, E.U.A.), comprobándose ser correlativa con la polución.

El oxicarbonismo.— Aunque, en general, los efectos de un residuo industrial no se manifieste claramente en la atmósfera urbana, dedicamos unas palabras al monóxido de carbono, por su insidiosidad, peligrosidad y carácter mayoritario en el cuadro de la polución.

Es estadísticamente el más difundido de los venenos, hasta alcanzar en Europa, durante el último decenio, valores del 67 al 75 %; estimamos las incidencias por oxicarbonismo en Barcelona, en el mismo período, debidas en su mayor parte al gas de alumbrado, en locales cerrados, en 65 a 70 % de la totalidad de casos registrados por intoxicación.

Su actividad tóxica deriva del bloqueo de la hemoglobina y de su concentración en el aire, en el que raramente se sobrepasan las 100 ppm, límite que se considera de seguridad para una exposición diaria de ocho horas (CMA). Su acción a baja concentración resulta peligrosa por pasar inadvertido, implicando una amenaza inmediata, en un máximo de dos horas, a 200 ppm, con vértigos y pesadez que pueden ser causa de accidentes graves. La absorción continuada, o periódica de pequeñas cantidades, se traduce en intoxicación crónica a la que se hallan expuestos los que trabajan en ambientes polucionados e, incluso, los vecinos de pisos bajos de aglomeraciones urbanas en calles de circulación intensa y los agentes que tratan de regularla. La influencia tóxica del óxido de carbono es revelada por los análisis de sangre en casos de accidente: más del 90 % de los conductores afectados acusan un nivel carboxihemoglobínico superior al normal. La impregnación oxicarbonada puede aumentar el riesgo de accidente cuando se suma a etilismo insuficiente para provocar trastorno alguno.

Efectos del brumazón.— En todos los episodios, atribuidos al brumazón, que han sido investigados, se observó un período, relativamente prolongado, de condiciones atmosféricas anormales, durante el que no se produjo la dilución y difusión de los contaminantes, acumulándose numerosas sustancias hasta niveles de concentración a los que se revelaron —en conjunto— perjudiciales, como se probó ampliamente en los ya mencionados y a los que dedicamos un poco de atención.

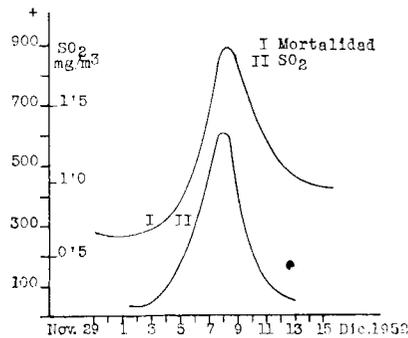
En una zona industrial del valle del Mosa, entre Huy y Seraing, cerca de Lieja, una inversión de temperatura de origen anticiclónico, llenó el valle, en una longitud de casi 30 kilómetros, de un brumazón espeso, amarillento, fuertemente ácido, desde el 1.º al 6 de diciembre de 1930. Enfermaron un millar de personas que experimentaron, como primer síntoma, enfriamiento con dificultades respiratorias y cardíacas, con carácter epidémico, muriendo 53 entre los de mayor edad o los ya afectados en su sistema cardio-respiratorio al iniciarse el fenómeno.

Entre el 27 y el 31 de octubre de 1948, ocurrió algo parecido en Donora (Pennsylvania), ciudad norteamericana de 14.000 habitantes ubicada en un meandro del río Monongahela, en el fondo del valle, a 50 kms. al sur de Pittsburgh, que quedó sumergida en una acumulación de humo de carbón, vapor de agua y anhídrido sulfuroso; en los cuatro días, cayeron enfermos 5.910 de sus habitantes (42 %), muriendo 17, o sea más de ocho veces la media normal de años precedentes. Las molestias predominantes fueron el resfriado, con síntomas catarrales referibles primero a la faringe y luego a la tráquea y fosas nasales, con abundante secreción, cefalea, opresión, náuseas y vómitos, instaurados en la gran mayoría de pacientes al tercer día, en el que fallecieron 15 vecinos, de 52 a 84 años de edad y que padecían ya de trastornos cardio-respiratorios. La autopsia reveló edema pulmonar, bronquitis purulenta e insuficiencia circulatoria crónica; ninguno de los contaminantes aislado era susceptible de producir tales efectos, tratándose de un caso de potenciación.

En la región parisiense amaneció el 10 de diciembre de 1951 con brumazón que duró hasta el 23, período durante el cual la mortalidad fue del 20 al 25 % superior a la normal en la misma época de años precedentes.

El último y, cuantitativamente el más grave, ocurrió entre el 5 y 9 de diciembre de 1952 en Londres que se despertó envuelta en el conocido *puré de guisantes* con cinco veces el contenido normal de humo y de 5 a 10 veces el de bióxido de azufre (normal 0'07-0'23 ppm; durante el brumazón, 0'7 a 1'3 ppm). Las estadísticas descubrieron que del 6 al 13 se sintieron enfermos gran número de londinenses, entre los que se registraron 2.851 defunciones más que en los mismos días del año anterior. El *brumazón* que se extendió a numerosas áreas de la isla, duró, con alternativas, hasta febrero de 1953, con mortalidad 15 % superior a la normal en los dos meses; los fallecimientos por bronquitis y neumonía fueron 8 y 3 veces más altos, respectivamente. Las numerosas investigaciones realizadas *a posteriori* sobre la catástrofe, demostraron la prolongación extraordinaria de sus efectos patológicos.

Las incidencias referidas y muchas otras de menor importancia presentan particularidades comunes: condiciones atmosféricas extraordinarias, humedad muy alta, mortalidad elevada, coincidente con trastornos cardio-respiratorios preexistentes y síntomas iniciales de irritación nasofaríngea y de los ojos, ahogo, náuseas, disnea y espasmo bronquial, todos debidos a la inhalación de una mezcla, aparentemente inocente, de partículas inertes y anhídrido sulfuroso, mostrando las curvas de polución un paralelismo sorprendente con las de mortalidad.



El estudio comparado de la relación letalidad-condición atmosférica en los cuatro episodios agudos referidos respecto a la de la misma época de años anteriores condujo a la conclusión de que venían produciéndose incidencias parecidas aunque no habían sido registradas ni investigadas como anormales.

Efectos respiratorios agudos no específicos. — En los estudios realizados en un núcleo urbano de Maryland en 1950 sobre la morbilidad y la intensidad de la polución, considerada en función del polvo caído, en condiciones atmosféricas normales, se halló que de dos grupos similares de población el que habitaba en una zona en la que las mediciones de polvo acusaron valores superiores, era más afectado de resfriado, durante un período de treinta días, que el que vivía en un área más limpia. La misma correlación número de casos/lugar de residencia fue observada para los de tonsilitis aguda, dolor de garganta, bronquitis y sinusitis agudas, laringitis y asma, comprobándose que las diferencias no se debían a distinto nivel socioeconómico, la ocupación o distribución por edades o sexos. El mismo estudio, verificado en la U.R.S.S. en 1957 y otros desarrollados en Gran Bretaña y Japón han llegado a conclusiones idénticas.

Los resultados hacen pensar que las afecciones agudas no específicas de las vías altas se hallan más o menos asociadas a niveles de polución moderada, como la de la mayoría de nuestras ciudades.

Experiencias sobre animales expuestos sucesivamente a inhalación de un gas irritante —ozono u óxido nítrico— y a aerosoles de *K.pneumoniae* dentro de las 24 horas, demuestran mayor mortalidad que en los testigos no expuestos. Otro tanto ocurre con los sometidos a la acción de gases de escape de automóviles, que sufren neumonía, en tanto que los testigos permanecen indemnes. Aparentemente, los animales expuestos a la acción de contaminantes resultan sensibilizados a la infección pulmonar. Trabajos de laboratorio han confirmado que cuando alguno de los contaminantes que se hallan en la polución urbana se

pone en contacto con el epitelio traqueal, aumenta la secreción mucosa que se hace más viscosa al mismo tiempo que se reduce y aún se paraliza el movimiento ciliar; se retienen así más fácilmente las partículas irritantes y, simultáneamente, se hace más grave la exposición a los microorganismos que pululan en el aire. Otra explicación de la correlación entre la polución y los trastornos agudos, no específica, admite la exacerbación virulenta de los gérmenes o virus patógenos adquirida como consecuencia de la existencia de contaminantes en el aire. Muy recientemente, en 1966, se ha observado en Harvard, la notabilísima disminución del poder bactericida de los macrófagos del alvéolo pulmonar por el humo de tabaco; aunque no concluyentes, los estudios de laboratorio y campo, demuestran el poder irritante de contaminantes del aire sobre las vías respiratorias en las que se desarrollan y agravan las infecciones simultáneas o subsiguientes.

Bronquitis crónica, insuficiencia y enfisema pulmonar. — Afecciones de diagnóstico un tanto impreciso que, a veces, se superponen, confundiendo en el mismo paciente, en una dolencia aparentemente única.

Se relacionan las bronquitis crónicas con el hábito de fumar y la polución del aire en Inglaterra, país en que se consideran seriamente por ser la causa directa del 10 % de la letalidad y de un porcentaje parecido del absentismo laboral. Las estadísticas norteamericanas presentan algunas diferencias con las inglesas, entre otras razones, por la propia definición de la enfermedad que, en América, en que se han duplicado las incidencias en el último decenio, se considera como «desorden clínico caracterizado por secreción mucosa excesiva en el árbol bronquial, con aspecto de resfriado crónico o recurrente. Arbitrariamente puede presentarse muchos días durante un mínimo de tres meses en el año y en no menos de dos años consecutivos», afectando en un grupo de varones de 40 a 59 años, al 21 %. En Inglaterra, el humo de tabaco y la polución se admiten como causas distintas de la bronquitis crónica.

Dejando de lado el hábito de fumar, el factor polución es realmente importante; en las grandes ciudades, más contaminadas, las tasas de letalidad son correlativas con el consumo de combustibles, pasando en Manchester la mortalidad por afecciones respiratorias del 7'7 a 23'2 en veinte años. El contenido en bióxido de azufre, el polvo y la falta de visibilidad se muestran también paralelas, como índices de polución, a las tasas de absentismo laboral y letalidad por bronquitis en mayores de 45 años. Los aumentos temporales de concentración de humos y SO₂ en Londres coinciden con la agravación sintomática de los afectados, insensibles, aparentemente, a la nicla.

Puede concluirse que la mortalidad por bronquitis es paralela a los índices de polución de las áreas urbanas y función de la densidad demográfica, combustibles quemados, aerosoles y reducción de la visibilidad. La influencia del SO₂ y de la acidez la prueba el hecho de que la letalidad aumenta en 2/3 cuando el pH de las precipitaciones baja de 4'0.

En igualdad de condiciones, se agravan los pacientes que trabajan al aire libre en las áreas muy polucionadas, tomando como índice la falta de visibilidad y el absentismo es mayor que entre los que trabajan en locales protegidos.

Insuficiencia ventilatoria crónica.— El cuadro clínico viene dominado por condiciones respiratorias no específicas, con aumento de resistencia al paso del aire y ventilación defectuosa, sin perjuicio de que al mismo tiempo se manifiesten otros síntomas; se conoce también como «alteración pulmonar obstructiva», incluyéndose en el mismo grupo otras dolencias simultáneas como enfisema, bronquiectasia e, incluso, casos de *cor pulmonale*.

La insuficiencia se asocia definitivamente con ciertos índices de polución y se complica por la influencia del humo de tabaco. Por ejemplo, se observan mayor número de casos entre los que trabajan durante años en túneles, no apareciendo como concausa la edad, sino la duración del empleo.

En estudios clínicos y experimentación animal se ha demostrado que contaminantes irritantes como los óxidos de azufre, a concentraciones parecidas a las encontradas en áreas urbanas, pueden ser causa de la constricción de las vías respiratorias, disminuyendo la ventilación.

Enfisema.— Hay evidencia de que la dilatación anormal de los pulmones con dificultad respiratoria origina trastornos y mortalidad crecientes en los Estados Unidos. El hecho de producirse con mayor frecuencia en las zonas urbanas apunta contra la polución atmosférica como posible agente causal. En Los Angeles el enfisematoso se agrava cuando se expone a la polución irritante, mejorando notablemente en 24 horas sin más que mantenerse en ambiente cerrado en el que el aire es despojado de los contaminantes del brumazón por precipitación electrostática y filtración por carbón activado.

Asma bronquial.— Entre los enfermos asistidos en Donora —el 42 % de la población total— se diagnosticaron 340 casos de asma bronquial (2'4 %) de los que el 88 % contrajeron la afección asmática en ocasión del brumazón. Mientras que según el criterio establecido por la estadística el 10 % de los habitantes sufrieron trastornos graves, entre los asmáticos fueron calificados así el 57 %. Se deduce una mayor

sensibilidad de los asmáticos al brumazón, con mayor frecuencia de casos graves.

Es interesante mencionar molestias que atribuidas a partículas irritantes se presentan como asma atípico, a escala epidémica, que no responden al tratamiento antiasmático pero que desaparecen alejando simplemente a los pacientes del área en que se sintieron indispuestos. Es notable el caso del personal militar estacionado en la llanura de Kanto próxima a Tokio, zona fuertemente industrializada que constituye, como Barcelona, el fondo de una gran cazuela (*) rodeada por tres lados por una cadena montañosa y el mar por el cuarto, en la que se localizó la epidemia que, probablemente, se debió a asma bronquial de tipo alérgico. En nuestra ciudad, Alemany-Vall ha comprobado fenómenos idénticos, bastando el traslado de los pacientes a algunos kilómetros de distancia de la zona industrial, para que cedan los síntomas, que atribuye a la polución, mejorando su estado y aspecto. Según la experiencia personal de este distinguido alergólogo, las crisis asmáticas durante los períodos de brumazón, son menos frecuentes entre los avecindados en las partes altas de la ciudad.

El cáncer de pulmón.— Su frecuencia viene aumentando ininterrumpidamente desde hace 60 años, estimándose hoy en 30 veces superior a la relativa en los albores del siglo. La mortalidad actual es del orden de 160.000 al año, especialmente entre varones adscritos a trabajos de ambiente sucio, como la minería de carbón, metalurgia, industria electroquímica, destilación de alquitrán, asfalto, etc., aunque no en igual grado ni del mismo modo en diversos países. Entre los varios factores considerados como causales figuran la exposición profesional —en 1955, entre los empleados en los ferrocarriles del Canadá, la frecuencia era cinco veces mayor en los maquinistas de locomotoras a vapor—, la polución y el humo de cigarrillo. El país que figura en cabeza, Gran Bretaña, es el más afectado por humos y brumas y en él se ha reconocido la relación entre el peso de polvo negro, recogido en los pluviómetros o sobre filtros de papel, y el cáncer de pulmón y estómago, debido éste, tal vez, por lo menos en parte, a la ingestión de alimentos mal protegidos.

El cáncer de pulmón adquiere importancia estadística en las zonas urbanas muy activas, como se observa en el cuadro siguiente en el que se dan las medianas de muerte calculadas por Prindle sobre los datos obtenidos en una encuesta realizada en 163 ciudades norteamericanas.

(*) Palabra que creemos equivalente a «cuvette» o «cup» empleados en francés e inglés, respectivamente, para la situación topográfica de Los Angeles.

canas, considerando la población absoluta y la densidad demográfica:

<i>Población en millares de habitantes</i>	<i>Medianas de letalidad por cáncer de pulmón</i>
50-100	1'10
200-300	1'30
400-500	1'60
600-1000	1'89
<i>Habitantes/km.²</i>	
1-5	1'17
6-8	1'40
9-12	1'35
13-16	1'45
16-20	1'46
20-40	1'68
40	1'85

quedando también establecida la correlación entre letalidad y ventas de gasolina, utilizadas como índice de exposición a la polución por gases de escape.

El aire de las ciudades acarrea mayor contenido en agentes cancerígenos que el de las zonas rurales; afirmación corroborada en el estudio sobre conductores habituales en áreas urbanas, en el que se hallan frecuencias de cáncer respiratorio más altas en los que conducen más horas al año en el interior de la ciudad que en los que lo hacen ordinariamente por carretera.

Investigaciones independientes han probado que la previa residencia durante largo tiempo en zonas fuertemente polucionadas va ligada a variaciones en la frecuencia del cáncer de pulmón que se relacionan con el factor de exposición en el país de origen. Así, en inmigrantes ingleses en Nueva Zelanda o Australia, la mortalidad por cáncer resulta más alta que entre los nativos, aun teniendo el mismo origen étnico y parecido hábito de fumar. En otro grupo, también británico, la letalidad por cáncer pulmonar fue mayor que entre los sudafricanos blancos, más fumadores.

Es difícil calibrar el papel de la polución en la mortalidad por cáncer de pulmón, diagnosticable, de ordinario, sólo después de un tiempo más o menos largo, de latencia, siendo posible que la letalidad registrada en un año se deba, verdaderamente, a los efectos de la polución de treinta años atrás. El especialista Chabad ha probado que si la descendencia de ratones embadurnados con alquitrán se expone al mismo cancerígeno, el número de animales en los que se desarro-

llan adenomas se dobla en relación con el de los padres: cabe decir que la acción cancerígena se intensifica de una generación a la siguiente.

La causa del cáncer humano es aun desconocida pero se han podido producir tumores malignos en ratones por inhalación de polvo, introducción en los tejidos subcutáneos o, simplemente, embadurnamiento de la piel con extractos de materiales sólidos del aire o de los gases de escape de automóvil a los dos años siguientes a la aplicación primera: es evidente que algunas de tales materias poseen actividad cancerígena o se comportan, por lo menos, como si así fuera. Estas observaciones no permiten la seguridad absoluta de que dichas sustancias sean factor causal necesario de la muerte por cáncer o que lo estimulen en el pulmón humano, pero las muy numerosas presunciones concordantes a que se ha llegado equivalen, en cuanto a las medidas de protección a instaurar, a la certeza.

Por otra parte, en el análisis de órganos de individuos, aparentemente sanos, muertos por accidente, se ha demostrado el almacenamiento del benzopireno, sin que, no obstante, se hallaren tejidos pulmonares cancerosos.

El cáncer de escroto de los deshollinadores, descrito hace ya dos siglos, en 1775, por P. Scott, se atribuyó siempre al hollín; en el análisis de éste se encuentran buen número de hidrocarburos y productos de su oxidación que, en los últimos años se han identificado en el aire urbano y en los gases de escape de motores de explosión o combustión.

Se trata de hidrocarburos aromáticos, policíclicos, de los que algunos son cancerígenos y otros cocancerígenos, reconocidos todos en el organismo animal. Se encuentran en las partículas alquitranosas, polvo de carbón bituminoso, hollín de las combustiones y en el polvo de asfalto.

De los encontrados en el aire, se han identificado, como cancerígenos los siguientes:

- 3,4-benzopireno
- 1,2,5,6-dibenzoantraceno
- 1,2,3,4-dibenzopireno
- 1,2,4,5-dibenzopireno
- 7-metil-1,2-benzoantraceno
- 7,8-dimetil-1,2-benzoantraceno
- 1,2,3,4-dibenzofluoranteno
- Colantreno
- 3-metilcolantreno

que se hallan, junto con muchos otros de actividad menor o nula, en

pequeñísima cantidad: de 20 a 150 ppm en peso, sobre las partículas recogidas por filtración del aire, con un máximo de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, de las que sólo la mitad son solubles en benceno o acetona. En esta parte soluble se encuentran irritantes orgánicos, capaces de alterar la estructura superficial de los tejidos y de potenciar la actividad cancerígena de los hidrocarburos.

Se admite que la cantidad de 3,4-benzopireno que un habitante de zona urbana puede absorber durante su vida por vía respiratoria, es de unos 16 mg., peso 40.000 veces superior al que provoca el cáncer en el ratón y como la concentración del hidrocarburo, que no es más que uno de los identificados como cancerígenos en el aire, puede cuadruplicarse durante los brumazones, es muy probable que la cantidad absorbida de contaminantes relacionados con el cáncer, sea muy superior.

En el grupo agresivo de los cancerígenos se incluyen algunos metales, cromo hexavalente y arsénico y los isótopos radioactivos subproductos de las explosiones de fisión, Pu^{239} y Sr^{90} , que constituyen un riesgo grave al incorporarse gradualmente al suelo y plantas y ser absorbido el estroncio en último término por el hombre con alimentos ricos en calcio, como la leche.

Efectos económicos.— De la relación de perjuicios atribuidos a la polución, puede deducirse su amplitud y coste, sin contar las pérdidas en vidas humanas, de imposible evaluación.

Pero sí lo son, por ejemplo, las derivadas del absentismo laboral inducido por la polución. ¿Cuántas jornadas de trabajo se pierden anualmente por tal concepto? ¿Cuánto cuestan los servicios médico-farmacéuticos requeridos? ¿Cuánto las pérdidas por reducción de la productividad?

Son pérdidas efectivas el aumento de coste y de tiempo de los transportes, a causa de defecto de visibilidad, y de los riesgos subsiguientes, el coste de la iluminación artificial necesaria, el de conservación y limpieza de las ciudades, los gastos de reparación de edificios y monumentos como se está haciendo ahora, en gran escala, en París. Los de conservación y limpieza de los automóviles: bastan cien kilómetros de recorrido o unas horas de estacionamiento para que se aprecien a simple vista millares de partículas negras, pegajosas y difíciles de eliminar. Otro tanto ocurre con la ropa de los habitantes de las zonas urbanas y de la tendida a secar, como en Badalona, Moncada y San Justo Desvern.

La polución crea perjuicios de orden económico en el campo; tan sólo las pérdidas de calidad de las cosechas afectadas se calculaban en Inglaterra en 10 millones de libras al año, a las que deben agre-

garse las ocasionadas a la ganadería, explotaciones lecheras y apícolas.

Otro aspecto es el de la disminución de valor de las zonas polucionadas por el polvo de cemento (San Justo Desvern, Moncada, Vallcarca), los humos y cenizas volantes de las centrales térmicas (Escatrón, Badalona) o de los depósitos de máquinas de ferrocarril (Tortosa), etc., respecto a otras más lejanas pero todavía limpias. En los Estados Unidos los expertos calculan que el valor medio de una casa sufre una depreciación de 2.000 \$ en las áreas polucionadas. Cabe incluir los gastos ocasionados por los litigios que desde tiempo inmemorial (*) se suscitan por su causa, ya que es indiscutible que los daños a un vecino deben ser reparados por quien los provocare, caso de la zona agrícola próxima a Escatrón.

Los costes extraordinarios de fabricación a consecuencia de la polución de origen externo, las pérdidas de vapor, cemento, gases, etc., que implican las atribuibles a su valor, las derivadas de la defectuosidad de las combustiones, que pueden alcanzar a la cuarta parte del coste del combustible, deben ser, asimismo, cargados a la cuenta de la polución, del mismo modo que las resultantes de la anulación o debilitamiento del turismo, como ha ocurrido en St. Jean de Maurienne, en que el trayecto de Aiguebelle a Modane, otrora acogedor, obliga a atravesar una nube nauseabunda que ha reducido considerablemente el rendimiento turístico de la zona.

Deben sumarse los gastos impuestos por las normas que para corregir los inconvenientes de la polución se van adoptando por todas las naciones; así, la reglamentación inglesa en vigor desde 1958, concierne a la limitación de polvo antes de evacuar los gases y a la altura mínima de las chimeneas, supone el desembolso de 625 millones de libras en 15 años a partir de aquella fecha. Las nuevas instalaciones y modernización de las existentes en las acerías de Pittsburgh cuestan en 20 años, 250 millones de dólares y a la industria renana del acero, equipada ya de depuradores en algo más de la mitad, le ha supuesto un gasto equivalente a 12.000 millones de pesetas.

Es difícil evaluar en cifras el coste de los daños totales debidos a la polución atmosférica, desconociendo los relativos a España, por no

(*) En este punto no queremos dejar de reproducir, por parecernos interesante, parte de una cita que nos ha sido comunicada por el Jefe del Servicio de Sanidad Ambiental, de la Escuela Nacional de Sanidad, Prof. Sánchez-F. Murias: «Una sentencia de Soleiman Ben Asuad decidió que debía colocarse un tubo en la parte superior del horno para que el humo saliera por la parte más alta y no perjudicase a los de la vecindad. Opina nuestro amable comunicante que entre 852 y 886 tendríamos nuestra primera sentencia acerca de las actividades incómodas y, posiblemente, la primera publicada en el mundo».

haber sido inventariados. En Francia se calcularon, en 1957, en 2.400 millones de francos; en 1950 se estimaron las pérdidas directas e indirectas de la Gran Bretaña en 377 millones de libras y, en los Estados Unidos, alcanzan los 11.000 millones de dólares en 1965.

III

LA LUCHA CONTRA LA POLUCIÓN

Definida ya y relacionadas sus fuentes de producción más importantes, así como sus efectos, vamos a referirnos brevemente a tres aspectos que informan sobre su control y cuyo desarrollo, aparte lograrse resultados generalmente satisfactorios en cuanto a la finalidad principal perseguida, ha dado lugar a consecuencias de las que posiblemente las más notables han sido el descubrimiento de nuevos procesos industriales limpios y, al mismo tiempo, contribuir al progreso de la investigación:

- 1) Conocimiento analítico y evaluación de la polución
- 2) Medios técnicos de corrección y prevención para limitarla
- 3) Medidas legislativas.

Reconocimiento y determinación de la polución.— La identificación de los contaminantes y su valoración son indispensables para conocerla y someterla a control con probabilidades de éxito.

La contaminación del aire se demuestra por una serie de fenómenos fácilmente perceptibles y que se han mencionado, como enturbiamiento de la atmósfera con disminución subsiguiente de la visibilidad, olores fuertes o extraños, irritación de las mucosas, sabor ácido, daños a la vegetación, deterioro de materiales y efectos, inmediatos o no, sobre la salud.

El olfato humano es el detector más sensible para los contaminantes con propiedades ósmicas, con umbral de percepción, en ocasiones, hasta un centenar de veces inferior al de los métodos instrumentales más sensibles; además la sensación olorosa es de gran especificidad, permitiendo identificar inmediatamente ciertos componentes tóxi-

cos o molestos. La percepción sensorial facilita una primera indicación de la existencia de muchos contaminantes, pero no permite el reconocimiento subjetivo e inmediato de trazas de otros tóxicos, como el monóxido de carbono, o el de materiales radioactivos, cuya identificación requiere el concurso del laboratorio.

La vegetación constituye un reactivo sensible y preciso de ciertos agresivos, pudiendo prestar valiosos servicios en la detección de la polución; basta la observación del aspecto que presentan las plantas para deducir la distribución de ciertos contaminantes, siendo muy útil por su sensibilidad el pino blanco (*Pinus halepensis*). En las ciudades ya hemos indicado que el arbolado denuncia la existencia de etileno y de monóxido de carbono a concentraciones bajísimas, del orden de 10^{-8} , cuando ni los métodos analíticos más sensibles la acusan. La flora que delimita las áreas afectadas, constituye asimismo uno de los medios de más valor para determinar las zonas castigadas por el *brumazón* y permite incluso reconocer algunos de sus componentes; del estudio sistemático en los laboratorios de Los Angeles se ha llegado a deducir que el *smog* local se debía a una mezcla de hidrocarburos y ozono, y el mecanismo de producción del último.

Como que la etiología de los trastornos sanitarios a escala colectiva no se halla aún bien definida y la experimentación en este campo es sumamente difícil, solamente la correlación entre los niveles de polución y los de morbilidad pueden proporcionar una orientación. Desde el punto de vista analítico se habrá de medir la tasa media global de contaminante en el aire respirado por un grupo de población y sus variaciones con el tiempo; relaciones que serán tanto más significativas cuanto más numerosa sea la población implicada y más grande el número de análisis.

No es problema el muestreo y análisis en el supuesto de que se disponga libremente de tiempo y de medios prácticamente ilimitados; no siendo así, de ordinario, la investigación ha de conducirse de modo que se obtenga el máximo rendimiento de los medios a nuestro alcance.

El muestreo debe ser, siempre, representativo, con tomas durante un tiempo que no pasa, generalmente, de una hora para el reconocimiento de un contaminante, pero que es insuficiente para su determinación, por variar la concentración imprevisiblemente, entre límites muy amplios. De otra parte, la valoración de trazas de ciertos componentes es sólo posible, con seguridad, *in situ*, para evitar la adsorción por efectos de superficie de los aparatos y otras pérdidas.

El mejor modo de observar la distribución de contaminantes en una zona geográfica, es establecer una red de estaciones, instaladas en puntos fijos, de muestreo continuo, en las que se puede calcular la

concentración media durante un período prefijado, o registradores automáticos que dan la relación concentración/tiempo. Las estaciones de control de la contaminación en una ciudad deben situarse en número suficiente para cubrir el área a estudiar. Una idea del criterio operante en Europa, la dan Londres que en 1957 disponía ya de 62 aparatos SF —para la determinación de anhídrido sulfuroso y humo— en sus 303 km.², a razón de uno por cada 5 km.² y el Departamento del Sena, con 14 aparatos en 1959, uno por cada 37 km.² y por 14 km.² en la capital (84 km.²). La comparación con los medios puestos en juego hasta la fecha en Barcelona, demuestra el camino que todavía queda por recorrer.

La elección de los puntos fijos de toma de muestras para control de la polución exige considerar cuidadosamente numerosos factores como la densidad demográfica e industrial, las condiciones meteorológicas y de microclimas locales y prescindir de puntos situados en vías estrechas bordeadas de altos edificios —a no ser que convenga conocer un aspecto limitado y muy local— evitando la proximidad de fuentes de polución o chimeneas.

En la imposibilidad de valorar la totalidad de los contaminantes, que supone un esfuerzo técnico y financiero muy importante, hay que escoger los que interesen de modo especial o los más representativos como el monóxido de carbono, el bióxido de azufre y los humos o aerosoles con alquitrán e hidrocarburos, que por producirse en todas las combustiones pueden considerarse como módulos de polución. La medida del polvo sedimentado, tal vez el criterio más antiguo de polución, es, asimismo, fácil de realizar y de gran interés en las aglomeraciones industriales.

Por la gran dilución de los contaminantes, los métodos analíticos han de ser suficientemente sensibles; otra cosa ocurre en el ambiente confinado de las fábricas, en el que pueden utilizarse los métodos del análisis industrial. En todos los casos, conviene trabajar con los más sencillos y aceptados internacionalmente, por lo menos para las determinaciones más frecuentes y, a ser posible, con aparatos aspiradores mecánicos con los que se puedan medir volúmenes gaseosos considerables.

Los *humos* son componentes de la polución de zonas consumidoras de combustibles sólidos; la mezcla de polvo de carbón, cenizas volantes y alquitrán se reconoce subjetiva e inmediatamente por las molestias que origina. Una primera aproximación sobre la importancia del humo la da la comparación de la opacidad del aire con la de una escala como la ya antigua de Max Ringelmann o cualquiera de sus modificaciones. Consisten en placas con una serie de cinco espacios

con superficies grises, o con puntos y líneas (*) negras sobre fondo blanco, que corresponden a opacidades del 20 al 100 %. Actualmente se emplean microescalas, de uso más cómodo: situado el operador a una distancia de 30 a 100 m. de la chimenea emisora, sostiene la escala con el brazo extendido, apareciendo el punteado de la escala confundido en grises uniformes, con los que se compara el humo, visto a través del orificio central de la placa, perpendicularmente a la dirección del penacho, estimándose el número del sombreado de la placa que mejor se corresponda con el humo, pudiéndose llegar a apreciar hasta medio número por observadores experimentados. Los valores leídos se tabulan para calcular la opacidad media durante un tiempo dado.

Las pequeñas partículas suspendidas requieren muestras de gran volumen, del orden de 1.000 m.³, recogándose sobre un filtro en el que producen una mancha cuya opacidad se puede medir, o sobre una placa metálica de tara conocida, cargada electrostáticamente, que por diferencia de peso, dará directamente el de polvillo recogido. Hay aparatos automáticos en los que una banda continua de papel de filtro o de teflon se desplaza a intervalos determinados —entre 1/2 y 3 horas— entre dos placas perforadas por una sección circular de 5 cm.², una con boca por la que entra el aire, tamizado previamente para retener partículas de tamaño superior a los 40 μ , que es aspirado por un tubo soldado a la otra, mediante una bomba que mide el aire pasado en cada determinación; en el papel aparecen círculos más o menos oscuros en los que por fotometría se mide la opacidad en aparatos registradores.

Los contaminantes gaseosos se determinan, si es posible, por combustión en el seno de la propia muestra o, en medio acuoso, transformándolos en otros susceptibles de medida o valorando el exceso de reactivo. Como ejemplos nos referimos, una vez más, al monóxido de carbono y al anhídrido sulfuroso tomados como tipos. Los métodos instrumentales fundados en ciertas propiedades de los contaminantes se emplean en las explotaciones industriales para el control de la combustión, en la que no debe aparecer CO.

El monóxido de carbono.— Se puede valorar por oxidación a anhídrido carbónico, catalizada por amianto platinado o por hopcalita, reacción exotérmica que eleva la temperatura cuyas variaciones pueden seguirse mediante un termómetro. Aunque el aparato es muy ligero y

(*) V. I Jornadas Nacionales de Población, Madrid, 1966. Ponencia III, p. 92.

de uso sencillo, resulta poco específico y sensible; si hubiera otros gases interferentes se separan selectivamente filtrando previamente el aire por carbón activado.

Idéntica oxidación tiene lugar cuando el aire polucionado por óxido de carbono se pone en contacto con un hilo de platino al rojo; el calor producido varía la temperatura del hilo y, por lo tanto, su resistencia, cuyas variaciones pueden seguirse con un puente de Wheatstone del que constituye uno de los brazos o inscribirse en un registro continuo.

La oxidación puede realizarse también con el concurso de anhídrido iódico que a 150° libera cuantitativamente iodo



que se determina por fotometría o con tiosulfato.

Uno de los métodos clásicos utiliza el paladio divalente como oxidante en medio acuoso



separándose metal finalmente dividido, de color pardo. La reacción verificada sobre papel de filtro dispuesto en un lugar sospechoso permite reconocer, aunque no específicamente, el tóxico. La sensibilidad se aumenta actuando en presencia de sales de oro, cuprosas o, mejor, de ácido fosfomolibdico. El argention se comporta en algunos de sus compuestos orgánicos, de modo parecido a los de paladio, con las ventajas de más alta sensibilidad: actualmente estamos experimentando con el p-argenti-sulfonamido-benzoato de sodio, con resultados alentadores.

Sumamente cómodo es el uso de estos reactivos absorbidos sobre gel de sílice contenido en un tubo de vidrio, en el que a igualdad de condiciones y en tiempos fijos, se produce la reacción coloreada en longitud que es función de la concentración; el aire es impulsado a través del tubo en volumen conocido y a velocidad apropiada. Estos tubos-reactivos pueden completarse con un filtro de carbón para evitar interferencias.

Un procedimiento muy práctico para medir el óxido de carbono se basa en la absorción de energía de una zona determinada del espectro cuando una mezcla gaseosa es atravesada por radiaciones infrarrojas; las procedentes de un foco atraviesan dos tubos paralelos, uno de referencia lleno de aire puro y otro con el aire que se analiza, en el que son absorbidas las radiaciones en razón de su concentración en OC, lo que no ocurre en el tubo testigo. Los dos haces IR llegan a dos cámaras de medición llenas de CO puro en las que son absorbidos, unidas ambas a otra dividida por un diafragma deformable. La absor-

ción tiene lugar con elevación de temperatura del gas, distinta en cada cámara, estableciéndose una diferencia de presión que desplaza el diafragma, que constituye una de las armaduras de un condensador, siendo la otra una lámina fija. Los movimientos del diafragma se traducen en variaciones de capacidad que son amplificadas y registradas. El aparato permite determinaciones rapidísimas y continuas del contaminante en función del tiempo; su sensibilidad, del orden de 10 ppm (12 mg/m.³) es suficiente en la práctica ordinaria.

El anhídrido sulfuroso es oxidable por el bióxido de plomo con formación de sulfato plumboso; el reactivo, dispuesto sobre un cilindro rígido, se deja expuesto en la atmósfera contaminada durante un período de tiempo fijo, generalmente 30 días, al cabo de los cuales se determina el sulfato de plomo producido, del que se deduce el contenido ambiental en SO₂.

Es muy efectiva y cómoda la oxidación con peróxido de hidrógeno



valorándose volumétricamente el ácido producido, con un indicador poco sensible al CO₂. Aunque no específico se presta bien cuando no hay otros contaminantes ácidos, utilizándolo el Instituto Municipal de Higiene, el Laboratorio Municipal y la Jefatura Provincial de Sanidad para la determinación rutinaria de la polución en la ciudad de Barcelona; puede mejorarse la especificidad por gravimetría o nefelometría de sulfato de bario.

Polvo sedimentado.—La media de la polución en su tercer estadio se hace por pesada del polvo recogido sobre una superficie conocida durante un tiempo dado. El instrumento tradicional es el medidor de Owen, consistente en un frasco de vidrio o de plástico de unos 10 litros de capacidad con un embudo grande ajustado en el gollete; el conjunto —de medidas «standard»— recuerda un pluviómetro. Las partículas se recogen, junto con las aguas de lluvia, durante un tiempo dado —de ordinario 15 ó 30 días—, en cantidad suficiente para el análisis químico. La muestra recogida (después de lavar el embudo con agua destilada) se pasa por un tamiz de 1 mm. de malla para separar insectos y partículas gruesas, filtra a través de un crisol de fondo poroso previamente tarado, seca a 105° y se pesa. En el mismo crisol filtrante se procede a extraer las grasas y materias orgánicas con benceno; se evapora el solvente, deseca nuevamente a 105° para calcular la materia insoluble, que después de calcinada a 500° dejará la materia fija o mineral. En el filtrado acuoso primitivo, se determina el pH y se investiga su contenido por los métodos del análisis

clásico. Los resultados se refieren, de ordinario, al km.² y se expresan en toneladas por mes o año.

El procedimiento, brevemente reseñado, informa sobre la naturaleza de los componentes del polvo, pero los datos cuantitativos obtenidos son de valor relativo desde el punto de vista toxicológico, por no tenerse en cuenta las partículas menores que son, precisamente, las más peligrosas, sobre todo si son muy numerosas.

Estas pueden captarse en impactores de medio líquido, siendo de uso práctico, tanto en el campo como en el ambiente industrial, los del tipo Greenburg que no son sino lavadores de gases de dimensiones fijas (*) conteniendo alcohol o agua en el que se hunde un tubo abductor con boca de pequeño diámetro (1 mm. Ø) muy próxima al fondo, contra el que choca la corriente de aire a gran velocidad, impulsado por una pequeña bomba accionada a mano o eléctrica, en volumen conocido. Las partículas de 0'5 micrones o más quedan retenidas en el líquido, que puede someterse directamente al análisis o del que se separa el polvo por filtración a través de vidrio poroso para su pesada y examen posterior.

Por ser los efectos patológicos del polvo dependientes —aparte su naturaleza— de su superficie libre, tanto mayor en relación con su masa, cuanto menor sea el diámetro y más grande su número, es de gran interés su contaje y la medida aproximada de sus dimensiones. De empleo muy cómodo es el conímetro de Sartorius, consistente en un pequeño impactor provisto de una lámina de choque, de vidrio, sobre la que se pueden efectuar hasta treinta lecturas independientes y consecutivas. Las partículas impulsadas a gran velocidad por un émbolo que desplaza un volumen exacto de aire, de 2'5 a 20 ml., quedan retenidas sobre la superficie de la lámina, recubierta de una película de vaselina. Un microscopio incorporado al aparato, provisto de retículo facilita el contaje que se expresa en millones de partículas por metro cúbico y, al propio tiempo, da idea del tamaño de las mismas.

En la práctica, se procede en muchas ciudades, a la determinación diaria del humo y del anhídrido sulfuroso en un aparato único, conocido por «SF»; el aire aspirado por una bomba eléctrica de caudal constante es filtrado por papel en el que deja las partículas en suspensión, burbujeando luego por un lavador en el que se absorbe o fija el sulfuroso y finalmente pasa por un contador seco en el que

se mide y registra el volumen total, sustituyéndose cada 24 horas el filtro y el reactivo por otros nuevos.

Análisis gráfico de la polución.— Para el estudio de la polución se requiere el planteamiento estadístico, partiendo del mayor número posible de datos; aunque no muy seguro, su análisis gráfico constituye una ayuda eficaz para la comprensión inmediata de los fenómenos, mucho más expresiva que el razonamiento matemático y por consiguiente, de valor indudable para su estudio y divulgación. Hace llegar a los profanos una idea clara de la distribución de contaminantes en relación con los meses o estaciones del año, o las variaciones de concentración de un tóxico al correr el tiempo, por ejemplo. Es también interesante la representación gráfica de las curvas de polución en función de los vientos dominantes, ya que sólo excepcionalmente se dan las condiciones meteorológicas ideales que permitan calcular la contaminación a una distancia dada de la fuente de emisión y de la altura de ésta.

Los mapas de polución, contruidos con los datos suministrados por un número suficiente de estaciones de análisis, durante períodos de meses o años, en los que pueden señalarse las características de los vientos y temperaturas, con líneas de nivel de contaminación, facilitan determinar la influencia de la situación de los centros emisores, la acumulación o dispersión de contaminantes en relación con la topografía, etc. Superpuestos a los mapas de población o de densidad industrial, constituyen documentos sumamente demostrativos de la efectividad de las medidas preventivas o de corrección impuestas.

El control de la polución.— El control de esta calamidad social y económica no puede ser resuelto sólo por medidas legales; es una tarea que incumbe a la comunidad y cada una de sus partes ha de tener conciencia de su responsabilidad en este campo. Estamos convencidos de que es evitable con el concurso del esfuerzo nacional, que resultará a la larga, de coste inferior al que hoy pagamos por padecerla, pudiéndose calcular *a grosso modo*, que el de los sistemas anti-contaminantes es de un diez por ciento sobre el de los establecimientos industriales.

Independientemente del acierto en escoger el emplazamiento de nuevas industrias, los medios técnicos se orientan a conseguir la reducción o supresión de la contaminación en su origen o la más rápida dilución en el aire.

Aunque no es factible, en el estado actual de nuestros conocimientos, prever las necesidades crecientes de la vida moderna, sin causar, al propio tiempo, cierto grado de contaminación, es evidente la posibilidad de prevenirla, planificando la producción industrial, si-

(*) V. Las Jornadas Nacionales de Población, Madrid, 1966, Ponencia III, 87, 107.

tuando ciertas fábricas en campo abierto, en el que la contaminación se diluirá, merced a los vientos, suficientemente para no alcanzar las zonas habitadas más próximas. Las áreas industriales y la situación en ellas de las factorías, deben tener en cuenta las condiciones meteorológicas dominantes y el microclima del lugar; es claro que no pueden olvidarse las comunicaciones, la distancia a las fuentes de aprovisionamiento o de consumo, disponibilidad de agua, etc. Por lo que se refiere a restricciones legales, han de ser razonables, o de otro modo, dejarían de ser practicables algunas actividades en perjuicio del nivel general de vida. Algunas áreas pueden ser designadas, al planificar, como zonas de humos controlados, en las que *a priori* se prohíbe su emisión; en éstas, las instalaciones serán capaces de consumir los combustibles sin producir humo, o de utilizar gas o electricidad.

Los contaminantes principales del aire, derivan de la combustión de carbones o productos petrolíferos que contienen azufre y de la conducción defectuosa del proceso. Gran parte de los residuos puede ser retenida sin excesiva dificultad; el humo, por ejemplo, se reduce vigilando las condiciones de la combustión, con volumen suficiente de aire y control de los gases evacuados, compensándose frecuentemente tales esfuerzos, por lo menos en parte, con el ahorro de combustible.

Tal control es prácticamente imposible en las pequeñas instalaciones o en los hogares domésticos, pero se pueden utilizar combustibles adecuados, antracita, coque, gas o energía eléctrica, para cuyo empleo se hallan ya preparados los aparatos modernos.

Los problemas de la polución en el interior de las explotaciones industriales, presentan puntos de contacto con los de la polución general, pero se observa cierta contradicción —a corregir— entre las medidas de prevención en unas y otra. De una parte se impone a las industrias evacuar los subproductos tóxicos con las aguas residuales o directamente a la atmósfera, mediante sistemas de renovación del aire interior por sistemas forzados de tiro o mediante chimeneas, lo que significa pura y simplemente que contribuyen de modo efectivo a la polución general. En este punto intervienen nuevamente los poderes públicos, fijando límites a los gases y demás productos emitidos por las chimeneas, para reducirla.

El anhídrido sulfuroso ambiental puede ser disminuido si lo es antes el contenido en azufre de los combustibles; las refinerías de petróleo lo logran por un proceso catalítico de hidrogenación a ácido sulfhídrico recuperable como azufre o ácido sulfúrico, operación, sin embargo, costosa. Los carbones con sulfuros metálicos pueden depurarse por procedimientos de flotación por ejemplo. La desulfuración puede conseguirse de modo parecido a como se hace con los aceites mine-

rales con hidrógeno o adicionando un óxido muy básico (cal) fabricando con la mezcla briquetas que dejan un 70-80 % de S en las cenizas como sulfato de calcio; las mismas briquetas, sin el aditivo, retienen sólo un tercio del azufre.

Hasta hoy no se ha encontrado un medio económico y eficaz para impedir la emisión de bióxido de azufre. En Inglaterra se ha ensayado en gran escala en centrales térmicas, la fijación por hidróxido cálcico, como se dijo antes, con acumulación de grandes cantidades de yeso o absorber el sulfuroso por agua fluvial alcalina, utilizada en refrigeración, que aumenta, en compensación, la contaminación del río, al que vuelve cargada de sulfato de calcio. El coste del tratamiento, por consumo de agua o por los transportes que exige la ocupación de espacio por los residuos en el primer caso, es relativamente alto, estimándose entre 85 y 140 pesetas por tonelada de carbón.

Algunas fábricas emiten cantidades enormes de humo y polvo, inevitables con las técnicas actuales, muchas francamente anticuadas; es posible, sin embargo, reducir la contaminación a un mínimo aceptable por apropiado control de los procesos industriales y tratamiento de los efluentes para separar las partículas antes de su descarga en la atmósfera. En las de cemento, se evacúan hasta 30 ó más toneladas diarias de polvo con una mitad de partículas menores de 10 micrones. Lo mismo ocurre en instalaciones de molienda o en almacenes en que se trasieguen productos pulverulentos. En estos casos, sólo las partículas mayores son retenidas en una cámara colectora en la que se depositan por gravedad, en tanto que las restantes son lanzadas al aire por la chimenea.

Las partículas menores pueden ser retenidas en filtros de tejidos de algodón, resistentes hasta 50 ó 60°, o de fibras sintéticas, hasta los 150°, sometidos a movimientos vibratorios por ondas de choque o de sacudimiento periódico para mantenerlos limpios durante su funcionamiento y acumular el polvo en su base inferior, capaces de un rendimiento del 99-100 %. En los separadores electrostáticos, de tipo Cottrell, la corriente gaseosa recorre uno o más campos eléctricos, creados entre electrodos de ionización, generalmente filiformes, y elementos tubulares, concéntricos a los electrodos o placas paralelas. Su rendimiento que depende de las características y longitud del recorrido del fluido de arrastre y de la naturaleza del polvo alcanza, en los de varios campos, al 99.9 %. Pueden separarse también en aparatos hidráulicos en los que el agua pulverizada, sola o adicionada de tensoactivos para asegurar el rápido humedecimiento de las partículas, circula a contracorriente a través del relleno de torres de lavado, recojiéndose los fangos obtenidos en la base. La atomización del agua es

muy efectiva en tubos de Venturi, como en los recuperadores empleados en las modernas plantas siderúrgicas con convertidores alimentados con oxígeno a presión, en los que resultan hasta 300.000 m.³ de gases a muy alta temperatura, con partículas submicrométricas de óxidos de hierro, de coloración y opacidad impresionantes. En estas instalaciones se requiere el enfriamiento previo de los gases, en calderas de vapor que aunque recuperan parte del calor, en todos los casos supone consumo importante de agua y energía eléctrica que hacen al proceso aunque efectivo, muy oneroso.

La retención del polvo de cemento, que tanto afecta a la comarca barcelonesa, exige los procedimientos más eficientes, como electrofiltros de tres o cuatro campos, cuyo rendimiento llega, para esta industria, al 99 %, evacuándose para fábricas de 1.000 a 1.200 toneladas diarias de producción, unos 100 kg/hora como máximo (de 100 a 500 toneladas al año). No se pueden utilizar filtros por impedirlo la temperatura de los gases, ni los desempolvadores hidráulicos por colmatarse rápidamente por fraguado de los lodos.

Continúa en diversas direcciones la investigación en el campo de la eliminación del polvo atmosférico; una de las más prometedoras es el uso de una sirena ultrasónica, estudiada por la Comisión de control de polución de aire de la Academia Polaca de Ciencias, medio con el que se han obtenido notables rendimientos en la precipitación de vapores, humos y polvos.

En la imposibilidad de eliminar ciertos productos agresivos por su reducida concentración, debe asegurarse la limitación de las emisiones a áreas determinadas o su rápida dilución y difusión. Las emisiones de las chimeneas son arrastradas y dispersadas por el viento, pero dependiendo siempre de la meteorología y topografía del lugar, especialmente si la industria se halla en un valle u hondonada. En las peores condiciones meteorológicas, la concentración del contaminante a dos metros del suelo debe ser insuficiente para afectar la salud del hombre, para lo que se requiere una altura mínima de la chimenea.

Constituye un capítulo particular de la lucha antipolución, la producida por los gases de escape de los automóviles, a la que ya nos hemos referido. Puede reducirse sensiblemente la emisión de productos tóxicos evitando el funcionamiento de los motores en régimen de sobrecarga, para lo que puede ser suficiente una reglamentación oportuna. Limitando el uso del starter al tiempo mínimo, conduciendo con el motor a velocidad de cruce, evitando pérdidas de carburante, se obtiene un progreso considerable, pero quedan aun los productos hidrocarburos del escape cuya oxidación completa puede conseguirse por poscombustión catalítica en un aparato atravesado por los gases antes

de llegar al silenciador. Los aparatos construidos en América son capaces de conservar su actividad, al parecer durante 20.000 km., eliminan entre el 85 y 95 % de semiquemados e hidrocarburos, son de pequeñas dimensiones y peso y, factor importante, de coste reducido. Otros dispositivos, tendentes a mejorar el rendimiento termodinámico del motor, vaporizando totalmente el carburante que se mezcla homogéneamente con el aire en la proporción necesaria para una combustión perfecta, permiten rebajar el contenido en óxido de carbono en 65-80 por ciento y el número de partículas sólidas.

Estas soluciones son, no obstante, inseguras como consecuencia del inevitable envenenamiento de algunos catalizadores y porque en el uso de los aparatos interviene un factor psicológico. ¿Cuidará el conductor de conocer el estado de su dispositivo y de cambiarlo cuando se haya agotado su eficacia? Se ha tratado de soslayar la dificultad estudiando el reciclado de los gases de escape, como se hace con los procedentes del cárter, para que se oxiden totalmente, prescindiendo de catalizadores, en el propio motor, aprovechando la temperatura de las cámaras de las válvulas de escape que trabajan a 750-800° y en las que se introducen los gases y aire, mediante una bomba especial. Aunque el coste del artefacto es superior al de la cámara de catalisis, sus resultados parecen satisfactorios y seguros, equipando ya automóviles de los que circulan en California.

En cuanto a los óxidos de nitrógeno, de producción inevitable en los motores actuales, no se ha encontrado hasta hoy el modo de eliminarlos ni se prevé, todavía, su posibilidad práctica.

En conjunto, la solución del problema de los gases de escape está aún en fase experimental y pendiente de los resultados que se obtengan en el Estado de California que obliga a todos los automóviles nuevos al montaje de dispositivos depuradores, de los que tanto se espera en las grandes ciudades y que afecta a cien millones de automovilistas en todo el mundo.

La eliminación del humo o del sulfuroso, que actúan como sinérgicos en la producción del brumazón, es de esperar que se traduzca en la mitigación de los efectos del fenómeno; por consiguiente, cuanto se haga por reducir las emisiones de hollín y de óxidos de azufre, contribuirá a una mejora general del ambiente y, posiblemente, de las zonas afectadas por el brumazón.

Además de las medidas preventivas o de corrección que se han reseñado, contribuyen a aliviar la contaminación atmosférica, las siguientes:

Sustitución del carbón graso por coque o semicoques (Glasgow, 1959), adaptación de los hogares para carbones de llama corta, susti-

tución de la calefacción doméstica individual por la colectiva a vapor (París, Nueva York), agua caliente (Hamburgo, Copenhague, Utrecht) o sobrecalentada (Basilea, Chambéry, ciudades rusas y polacas), etc. La aplicación de las modernas técnicas de calorifugado, han permitido la supresión de millares de chimeneas, con la contaminación subsiguiente, transportando el calor producido en grandes centrales situadas a distancia de las ciudades.

El empleo de gas natural o el obtenido por la industria petroquímica y el del petróleo refinado para calefacción, cocinas y pequeñas industrias, ha demostrado también la posibilidad de disfrutar de una atmósfera más pura.

La tracción eléctrica o por automotores bien regulados, permite la supresión de locomotoras a vapor con todos sus inconvenientes, especialmente en los trayectos urbanos.

La edificación de ciudades satélites en que no se permitan industrias o actividades que deban consumir combustibles susceptibles de contaminar el aire o dar subproductos tóxicos o molestos.

Que la lucha contra la polución puede ganarse aplicando las medidas técnicas mencionadas, se ha demostrado ampliamente en Inglaterra, Francia y Estados Unidos, naciones en que son numerosas las ciudades que se han beneficiado de las mismas; citamos como ejemplo, el impresionante de Pittsburgh.

Este gran centro industrial, llamado la ciudad del humo, por sus grandes coquerías, gigantescos altos hornos y numerosas fábricas siderúrgicas y de vidrio, situado en la confluencia de los ríos Allegheny, Monongahela y Ohío, con 1.330.000 habitantes en el área metropolitana (1.900 km.²) y 475.000 automóviles de turismo en 1960, se hallaba sumergido en los años veinte en un *brumazón* oscuro, ácido, con toda clase de contaminantes, subproductos de su enorme actividad metalúrgica. En 1946, por decisión de las autoridades y con la cooperación de los industriales que controlaban las fuentes de polución, se inició una acción común poniendo en juego simultáneamente varias técnicas de lucha que debieron crearse. Las nuevas instalaciones requerían el permiso de comisiones encargadas de comprobar el cumplimiento de las normas de limpieza ambiental acordadas; las antiguas debían adoptar nuevos tipos de hornos y modificar sus instalaciones. Se sustituyeron las máquinas de vapor de los ferrocarriles y buques fluviales, por motores Diesel y se planificó equipar de sistemas depuradores a todos los hornos del condado en veinte años (1968). Aunque el coste de la operación fue de 250 millones de dólares, los resultados han sido extraordinarios y proporcionados al esfuerzo realizado, como se deduce de los registros de visibilidad obtenidos por el Servicio Meteorológico dur-

rante el período 1946-1958. El polvo depositado que en 1940 era evaluado en 271 toneladas por km.² y año, bajó en 1958 a menos de 162.

Papel de la vegetación en la lucha antipolución.— Dejando aparte los medios técnicos, constituye la vegetación un recurso natural, sencillo y eficaz para depurar el aire urbano hasta el punto de considerarse los parques, jardines y arbolado, como pulmones de la ciudad. Su actividad purificadora y reguladora radica en la función clorofiliana, la facilidad con que retiene las partículas existentes en la atmósfera y la regulación de la temperatura por evaporación de parte del agua absorbida del suelo a través de su enorme superficie foliar.

La importancia cuantitativa de la función clorofiliana forestal, reconocida desde largo tiempo, fue evaluada en 1946, según Moller, en la fijación de 4.800 kilos de carbono por hectárea plantada de hayas y año y algo más de 5.000 si el bosque es de pinos; simultáneamente son liberados de 12.700 a 13.600 kilos de oxígeno.

En el proceso de oxidación del monóxido de carbono en la atmósfera, éste se halla en equilibrio con el bióxido y es lógico que disminuyendo la presión parcial del último, se acelere la conversión del primero. Esto explica, a nuestro juicio, la limpieza del aire que el Prof. Truhaut, de la Facultad de Farmacia de París, halla en los jardines públicos de la capital aun en distritos de fuerte circulación mecánica.

El polvo y las partículas finas, especialmente las que contienen hidrocarburos y alquitrán son inmovilizadas por el follaje en cantidades que varían con la especie vegetal, estimándose en una media de 50 a 60 kg. por Ha y mes. Si la vegetación fuese demasiado clara o la polución muy intensa y faltaran precipitaciones, la capa aceitosa puede obstruir los estomas y asfixiarla.

El papel bienhechor de los cinturones verdes con que se separan las zonas residenciales de las industriales en algunas ciudades, como barrera despolvadora y depuradora, de utilidad manifiesta en áreas de fuerte contaminación, va ligado particularmente a las especies arbóreas y es tanto más notable cuanto mayor es la superficie plantada; de aquí el interés de las alineaciones de arbolado y la necesidad de crear en el interior de la ciudad zonas de arbolado de extensión suficiente.

No es bastante la del patrimonio verde de Barcelona que, sin contar los 62.000 árboles (plátanos, castaños de Indias, tilos, olmos, álamos, aligustres y palmeras) que ejercen su papel protector frente a la polución automóvil, alineados en cuatro filas a lo largo de 11'13 km. y

en dos en 208'74 km. de nuestras calles, suman 730'25 Ha (1), aproximadamente el 7 % de la superficie del término municipal, correspondiendo a cada habitante un promedio de 4'36 m.² (en el casco antiguo, superpoblado, la media es mucho menor), contra 9 en Londres, 13 en Berlín, 25 en Viena y 50 en Washington; sólo en la metrópoli parisiense, a pesar de su arbolado y cuidados jardines, hallamos un valor inferior al de la Ciudad Condal.

Las previsiones de nuevas plantaciones (2) serán compensadas sin duda alguna, dada la limitación del término, por el constante aumento demográfico, el aprovechamiento exhaustivo del suelo (3), las talas efectuadas con la esperanza vana de acelerar una circulación cada día más próxima a la embolia (4) y para la apertura de nuevas vías y la desaparición definitiva de esos auténticos antídotos que son los pequeños jardines, víctimas de la propia polución o ahogados por construcciones colindantes o por las que ocupen el suelo que adornaron (5).

DISPOSICIONES CONTRA LA POLUCIÓN

El hombre no ha podido evitar hasta hoy que el progreso tecnológico tuviese efecto sin contaminación simultánea del aire, a pesar de sus esfuerzos, desde las súplicas a los dioses dieciséis siglos a.d.J.C. (*) hasta la prohibición sumaria del empleo del carbón en las ciudades (Londres, 1300). Hoy sabe que los procesos industriales y de combustión originan productos de efectos desastrosos para su propio organismo, la ropa blanca y los monumentos, preocupándose seriamente al descubrir, en nuestros días, su peligrosidad latente como agentes cancerígenos.

(1) Parques forestales, 459'25 Ha.; id. urbanos, 221'46 Ha.; jardines urbanos, 38'50 Ha., y parterres en la vía pública, 11'24 Ha. Datos que agradecemos al Dr. Arq. D. L. Riudor, Director Gerente del Servicio de Parques y Jardines.

(2) Se admite la posibilidad de adornar con especies adecuadas algunas de las nuevas vías de anchura suficiente, como por ejemplo la Avenida Meridiana, entrada N de la ciudad.

(3) La Sociedad «Amigos de los Jardines» impugnó, a su debido tiempo, el propósito de transformar zonas declaradas verdes en anteriores acuerdos municipales en edificables.

(4) En la Vía Augusta, calle de Trafalgar, algunos cruces de la Diagonal.

(5) Avenida Generalísimo - Urgel.

(*) Papyrus Smith; citado por A. Quevauviller, Rev. A.P.P.A., 1959. n.º 2, 55.

A la polución contribuimos todos pero la responsabilidad se centró en la industria, desde que se inició la fabricación de sosa Leblanc en 1781, fácilmente detectable por su importancia individual; se comprende que siendo más cómodo actuar sobre las grandes causas mejor que contra infinidad de otras menores, se presione sobre las primeras.

Debemos admitir que los hechos han corroborado la posibilidad de aliviar o suprimir la polución y que es deber de la industria no perjudicar con sus subproductos a la comunidad que, a su vez, ha de asumir parte importante de aquella responsabilidad. En esta idea de que la comunidad puede conseguir aire limpio —no necesariamente aire puro— si realiza el esfuerzo necesario, debe basarse cualquier programa antipolución. Este ha de cubrir, en todos los casos, un área superior a la propia, ya que los movimientos de las masas de aire no reconocen fronteras jurisdiccionales de ninguna clase.

Por sus innumerables aspectos, el control de la polución sólo puede ser realmente efectivo mediante legislación apropiada, a nivel nacional, a través de organismos integrados por la Administración Sanitaria, científicos, industriales, técnicos en agricultura e higiene industrial y urbanistas que estudien y propongan el instrumento legal que estimen más adecuado para los problemas planteados, en el cuadro de la Organización Mundial de la Salud.

En cuanto a España se refiere, la reglamentación de 1925 (Reglamento y Nomenclátor de establecimientos incómodos, insalubres y peligrosos; R.O. de 17-11-25 — Gaceta 27/11) (*), puesta al día en 1950 «con criterio realista y beneficioso, no sólo para la industria en general, sino también para el vecindario de las poblaciones afectadas por tales establecimientos», fue sustituida por Decreto de la Presidencia del Gobierno de 30 de noviembre de 1961 («B. O. E.», 7/12) por un nuevo Reglamento, cuya observancia se declara obligatoria para *evitar que las instalaciones, establecimientos, actividades, industrias o almucenes, produzcan incomodidades, alteren las condiciones normales de salubridad e higiene del medio ambiente, ocasionando daños a las riquezas pública o privada o impliquen riesgos graves para las personas o*

(*) En este Reglamento se califican de incómodas una serie de actividades consideradas hoy como insalubres o nocivas, como fábricas de cemento, cal, yeso, industrias metalúrgicas y cerámicas, por producir humos y, por la misma razón las que funcionan con motores de vapor o gas pobre de más de 5 CV.; también lo son las accionadas por motores de esencia, petróleo, alcohol, aceites pesados o gas de alumbrado de más de 20 CV., por producir ruidos y vibraciones, ignorando la peligrosidad tóxica de los subproductos. Se declaran insalubres las fábricas de aceros especiales por evacuar bióxido de carbono y las papeleros, por producir vapor de agua en exceso.

los bienes. En la misma disposición se definen las industrias *molestas* (por ruidos, vibraciones, *diseminación de humos, gases, olores, nieblas y polvos en suspensión*), *insalubres* (evacuación de *productos que pueden perjudicar directa o indirectamente la salud humana*), *nocivas* (que, además, puedan ocasionar *daños a la riqueza agrícola, forestal, pecuaria o piscícola*) y *peligrosas* (que fabriquen, manipulen, almacenen o expendan productos que ofrezcan riesgo grave de explosión, combustión o radiación) con un total de 280 rúbricas que se enumeran en el Anexo I. Se definen asimismo las actividades reguladas que se supeditan, en cuanto a su emplazamiento, a los Ayuntamientos o a lo que acuerde la Comisión Provincial de Servicios Técnicos; en todo caso, las industrias calificadas como peligrosas, insalubres o nocivas deberán situarse a más de 2 km. del núcleo de población agrupada más próximo. A esta misma Comisión corresponde el señalamiento de zonas industriales, el procedimiento para la concesión de licencias, imposición de sanciones y presentación de recursos. Como Anexo II figuran las tablas de CMA en el ambiente interior de las explotaciones industriales, para gases y vapores, polvos y neblinas y polvos minerales en suspensión, cuyos límites se declaran *máximos que pueden ser reducidos por otras disposiciones vigentes o que se dicten en lo sucesivo*.

Se evidencia, sin embargo, la dificultad de suprimir rápidamente los riesgos de la polución del aire por la simple imposición de normas legales que es obvio han de tener en cuenta las contingencias técnicas y económicas de la época para resultar eficaces.

En España existe ya un programa de organización de la lucha contra lo que hemos llamado el reverso del progreso tecnológico, correlativo con un más alto nivel de vida y, por qué no decirlo, de contaminación atmosférica. Una de las ponencias oficiales de la 5.ª Reunión de Sanitarios Españoles se dedicó a la contaminación atmosférica y en 1963 se creó una Sección de Sanidad Ambiental en la Escuela Nacional de Sanidad.

Esta ha realizado ya el estudio sistemático de la contaminación urbana de Sevilla, de la de Madrid durante el período 1964-66 en la que se ha comprobado la elevación del nivel de contaminación atribuible a los automóviles, y desde julio último, la de Bilbao que, probablemente, se extenderá al área metropolitana de Barcelona. También se ha investigado la polución por mercurio en Almadén y la fluorada en Salamanca, etc. Además son numerosos los trabajos en explotaciones industriales de las comprendidas en el Anexo II del Reglamento de 1961.

De hallarnos en condiciones de establecer las relaciones de causa a efecto entre la morbilidad y los fenómenos atmosféricos, registrados

paralelamente al análisis estadístico de la polución, se podrían fijar con mayor claridad los límites ambientales de toxicidad y proponer los medios necesarios de prevención y corrección. Sería preciso reunir, clasificar y ordenar los datos disponibles y, por razones prácticas y de comparación con los de más allá de nuestras fronteras, unificar los métodos analíticos, de medida y de expresión de resultados, de acuerdo con las recomendaciones de la OMS, como se hace ya con los cuestionarios que se utilizan en la encuesta, en curso en Bilbao, sobre sintomatología respiratoria.

La labor iniciada no es fácil por la extensión y complejidad del problema, cambiante constantemente con el lugar y el tiempo. Exige, desde el estímulo a la investigación hasta el estudio experimental y estadístico, objetivos que no pueden conseguirse sin los medios necesarios, más bien escasos hasta la fecha. Obtenidos éstos y establecido un plan definitivo sólo se podrá llegar a resultados positivos, contando con la colaboración de científicos —meteorólogos, físicos, químicos, biólogos—, higienistas, sanitarios, ingenieros, arquitectos, urbanistas, representantes de la industria y de los grandes consumidores de combustibles y de la Administración, y tomar España el lugar que le corresponde en el concierto mundial.

Desearíamos poder decir que ya hay un público capaz de comprender la necesidad de la lucha por la pureza del aire, pero es lo cierto que aun no existe la conciencia de responsabilidad a la que aludimos, para la que es necesaria una campaña de divulgación y educación cívica a la que pretendemos contribuir con nuestra modesta aportación.

Estamos convencidos de que en el trabajo de equipo necesario es deseable la participación de los farmacéuticos, técnicos capacitados excepcionalmente por sus conocimientos y posibilidades, en particular los titulares repartidos por la geografía nacional. Hemos señalado el valioso papel de la diagnosis subjetiva y permanente de la polución y de la distribución de contaminantes por el examen de la vegetación; además están al alcance de los más modestos laboratorios rurales algunas mediciones como las de polvo sedimentado, por ejemplo, que reunidas, con las observaciones personales y los datos meteorológicos locales, por los Colegios de Farmacéuticos o por las Academias de Farmacia, llegarían, debidamente ordenadas, al organismo rector del programa, contribuyendo al trazado de los mapas de polución y a localizar sus fuentes.

El Farmacéutico, en su misión de consejero sanitario, puede y debe cooperar al bienestar de la comunidad, instruyendo a sus con-

vecinos sobre la necesidad de respirar aire limpio, sin olvidar que nuestra libertad tiene como límite la de los demás.

Y, para terminar, nuestro agradecimiento más sentido a cuantos nos han ayudado en nuestro trabajo y a los que con tanta paciencia nos han acompañado en esta solemnidad.

