

Algunas investigaciones sobre difusión y transporte de contaminantes en el medio ambiente atmosférico

DISCURSO

para la recepción pública del Académico electo

ILMO. SR. PROF. DR. D. JUAN V. MARTIN ZORRAQUINO

leído el 23 de marzo de 1976

y contestación del Académico numerario

EXCMO. SR. PROF. DR. D. JUAN MANUEL DE GANDARIAS Y BAJON

Presidente de la Real Academia de Medicina de Bilbao



Bilbao, marzo de 1976

REAL ACADEMIA DE MEDICINA DE BILBAO

Algunas investigaciones sobre difusión y transporte de contaminantes en el medio ambiente atmosférico

DISCURSO

para la recepción pública del Académico electo

ILMO. SR. PROF. DR. D. JUAN V. MARTIN ZORRAQUINO

leído el 23 de marzo de 1976

y contestación del Académico numerario

EXCMO. SR. PROF. DR. D. JUAN MANUEL DE GANDARIAS Y BAJON

Presidente de la Real Academia de Medicina de Bilbao



Bilbao, marzo de 1976

Algunas investigaciones sobre difusión y transporte de contaminantes en el medio ambiente atmosférico

DISCURSO

para la recepción pública del Académico electo

ILMO. SR. PROF. DR. D. JUAN V. MARTIN ZORRAQUINO

leído el 23 de marzo de 1976

y contestación del Académico numerario

EXCMO. SR. PROF. DR. D. JUAN MANUEL DE GANDARIAS Y BAJON

Presidente de la Real Academia de Medicina de Bilbao



Bilbao, marzo de 1976

Algunas investigaciones sobre difusión y transporte de contaminantes en el medio ambiente atmosférico

JUAN V. MARTIN ZORRAQUINO

*Catedrático de Termotecnia de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros
Industriales de la Universidad de Bilbao*

Excmo. Sr. Presidente, Excmos. e Ilmos. Sres. Académicos, Excmos. e Ilmos.
Sres., Señoras y Señores:

La noticia de mi nombramiento de Académico electo de esta Real Academia de Medicina constituyó para mí una gratísima sorpresa y una profunda alegría y supuso un sentimiento de responsabilidad contraida para superarme en mis afanes de trabajo de investigación en la línea de ingeniería sanitaria que corresponde a la plaza para la que fui designado.

Ya desde mis primeros años, a través de mi médico, el Prof. Dr. D. Antonio Lorente Sanz y del médico de cabecera de nuestra familia, el Dr. D. Tomás Cerrada Forés he sentido un gran respeto y una profunda admiración por la Medicina y los profesionales que la ejercen. Posteriormente mis trabajos en el campo de la ingeniería del medio ambiente me han llevado a colaborar en muchas ocasiones con especialistas de diferentes procedencias, lo cual ha contribuido a acrecentar tales sentimientos al mismo tiempo que en cierta manera me sentía vinculado ya a mis colegas médicos por inquietudes comunes. Finalmente, en los meses transcurridos desde mi elección, he podido también comprender que compartir la misión de la Corporación supone en mi caso, además

de un gran honor, una extraordinaria posibilidad de enriquecimiento en los aspectos humano y científico. Deseo expresar a los ilustres Académicos mi sincero agradecimiento y mi propósito de procurar con gran empeño hacerme digno de la distinción que me conceden. Se da la circunstancia, además de que voy a ser el primer designado correspondiente a ciencias afines en esta Real Academia y veo en ello vuestra gentileza hacia la Ingeniería que represento, motivo por el cual me siento también muy honrado y agradecido.

Desde el primer momento en que me planteé la preparación del discurso de ingreso pensé en dedicarlo al tema del medio ambiente. A través de mis estudios y relaciones con especialistas y expertos de la Organización Mundial de la Salud conozco la importancia que para el sanitario tienen los problemas de la contaminación del medio ambiente dada su ya gran influencia sobre la salud y el pleno bienestar físico, mental y social, y dadas las previsiones de evolución de la situación para el futuro. Hace unos meses se han cumplido doce años de mi inicial dedicación al tema (recuerdo que en aquella época éramos relativamente pocos los que sentíamos tal preocupación). Entre los diversos aspectos que estudiamos, tales como ruidos y vibraciones, contaminación de aguas, eliminación de basuras y desperdicios, radiaciones, contaminación del aire, contaminación térmica, utilización abusiva de pesticidas e insecticidas, y otras molestias y perturbaciones, sin duda el que nos atrae de forma especial es el que se refiere al medio ambiente atmosférico. Fue el primero que nos llamó la atención en los aspectos relacionados con las combustiones en hogares y motores térmicos, y a él hemos dedicado la mayor parte de nuestras publicaciones, trabajos y actuaciones. Por otra parte, la situación del área que habitamos, nos ha inducido también a matizar esta preferencia.

Si revisamos las disposiciones oficiales aparecidas sobre protección del medio ambiente nos encontramos con que no existe una Ley general que considere de forma armónica todos los aspectos, sino que pese a los indudables inconvenientes que una contemplación parcial presenta, se cedió a la presión de las circunstancias iniciando el tratamiento a nivel de Ley con la correspondiente al medio ambiente atmosférico de 22 de diciembre de 1972. Posteriormente han sido varios los Decretos complementarios que han ido apareciendo a tenor de las previsiones de la propia Ley; pero entre los que todavía no han llegado a ver la luz consideramos especialmente importantes los relacionados con la difusión y transporte de los contaminantes. Sin duda esta circunstancia nos ha parecido importante para orientar nuestra elección dado que en estos momentos existe una gran inquietud por el problema de la contaminación y un general conocimiento y comentario sobre las disposiciones vigentes. Teniendo, pues, en cuenta cuanto antecede y dándose además el hecho de que entre los trabajos que desarrollamos en la actualidad y sobre los que tenemos proyectos futuros, figura el mencionado, nos ha parecido oportuno y útil elegirlo.

Deseo también expresar mi reconocimiento al Profesor Gandarias, buen amigo y Vicerrector de Investigación de nuestra Universidad, al que me une una directa relación de colaboración y que gentilmente ha aceptado mi petición de preparar la contestación a este discurso de ingreso. Con su docta disertación realizará notablemente este acto. En él concurre, como hemos dicho, junto a su calidad de Presidente de esta Corporación y sus relevantes cualidades humanas y científicas, la particularidad notable de ser Vicerrector representante de las actividades investigadoras de la Universidad de Bilbao, dos facetas de gran valor para mí, la universitaria por herencia y profunda convicción y la investigadora por vocación sentida.

LA DIFUSION Y TRANSPORTE DE LOS CONTAMINANTES EN EL MEDIO AMBIENTE ATMOSFERICO

La presencia de contaminantes en el medio ambiente atmosférico se explica en algunos casos por fenómenos naturales o accidentales, tales como las emisiones volcánicas, un incendio forestal, etc., pero en la mayor parte de los casos se debe a la actividad del hombre. Entre las emisiones que considerar citaremos las de origen industrial, las debidas a los vehículos y medios de transporte a las calefacciones y hogares industriales, a los basureros e incineradores municipales, al empleo de pesticidas e insecticidas, a ciertas actividades como la cria de determinados animales, las procedentes de corrientes de agua contaminada que van acompañadas a veces de olores nauseabundos, etc. Las emisiones se expresan en g./Nm³, en %, en valores convenidos tales como las escalas de coloración de humos, etc. Los contaminantes emitidos salen a veces por chimeneas que en algunos casos llegan a alcanzar alturas del orden de 360 metros (como es el caso de algunas Centrales Térmicas), pueden salir por sencillas chimeneas de viviendas, por salidas de humos de naves industriales o barcos, por tubos de escape de automóviles, camiones, trenes, aviones, etc., pueden desprenderse de basureros o superficies de agua, etc.

La variedad de las sustancias reconocidas como contaminantes es muy amplia, unas se comportan como gases, otras son partículas, etc., y al encontrarse en el medio ambiente son transportadas y difundidas, pueden reaccionar con otras sustancias, se eliminan por diferentes mecanismos; pero pueden también a corto o largo plazo, directa o indirectamente, causar perturbación en la salud de los seres vivos, molestias para el bienestar, seguridad o pleno disfrute de los bienes materiales, disminución de la visibilidad, oscurecimiento del paisaje, etc., pueden producir la pérdida o envejecimiento acelerado de algunos materiales, de obras de arte, etc. No se juzga necesario insistir en la diversidad de contaminantes ni en la gravedad del problema y sus repercusiones económicas.

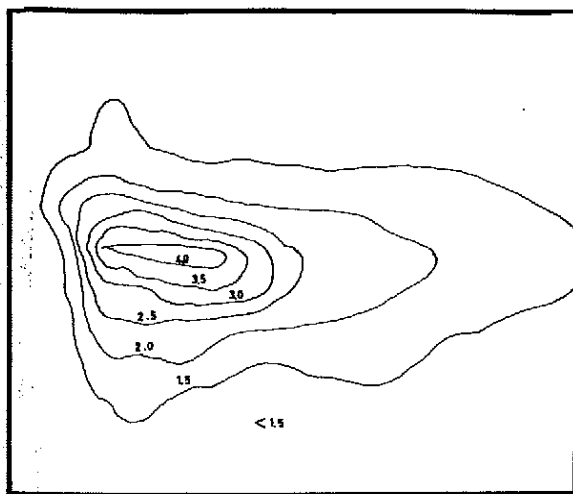


Gráfico de isoconcentraciones de monóxido de carbono obtenidas como promedio de una hora de duración. Valores expresados en p.p.m.

En la zona que respiran los seres vivos y en el medio en general se dan unas concentraciones de contaminantes que llamamos valores de inmisi3n que se miden en p.p.m. o m1s frecuentemente en $\mu\text{g.}/\text{Nm}^3$. Sobre un 1rea de estudio podemos reflejar las curvas de isoconcentraci3n para un determinado contaminante y correspondientes a un determinado tiempo como puede verse en la figura. Tambi3n conviene recordar que la presencia simult1nea de contaminantes puede dar el conocido fen3meno de sinergismo que consiste en la potenciaci3n de efectos individuales de forma que a menores dosis se producen efectos mayores de los previstos. Queda mucho por estudiar sobre los efectos de las distintas concentraciones sobre el hombre, animales, vegetales y materiales, d1ndose como es l3gico preferencia a lo relacionado con la salud del hombre. Basados en la relaci3n para cada caso entre concentraciones, tiempos de exposici3n y efectos, se se1alan los niveles de inmisi3n, los 1ndices de contaminaci3n, etc., que permiten caracterizar las situaciones.

Tras lo dicho se comprende que la multiplicaci3n y tipo de focos, la composici3n y el tama1o de las part1culas de los contaminantes, la meteorolog1a, la topograf1a y presencia de obst1culos, las reacciones entre contaminantes, los transportes a larga distancia, la situaci3n de fondo de las 1reas afectadas, los valores l1mites a imponer o prever en la inmisi3n, las consideraciones urban1sticas con zonas especiales, la imposici3n de servidumbres, etc., son temas relacionados de cerca con el que nos ocupa.

La ecuaci3n de partida para el estudio del transporte y difusi3n se establece expresando la conservaci3n de la masa correspondiente a un volumen elemental. Despreciando la influencia de la variaci3n de presi3n y temperatura, la expresi3n obtenida es:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C}{\partial z}) + S + R \quad [\mu\text{g.}/\text{m}^3.\text{s}]$$

En ella C es la concentraci3n de contaminante.

u, v y w son las componentes de la velocidad del viento en las direcciones x, y, z respectivamente.

K_x , K_y y K_z son las componentes del coeficiente de intercambio por turbulencia.

S es la intensidad de fuentes y sumideros por unidad de tiempo y de volumen.

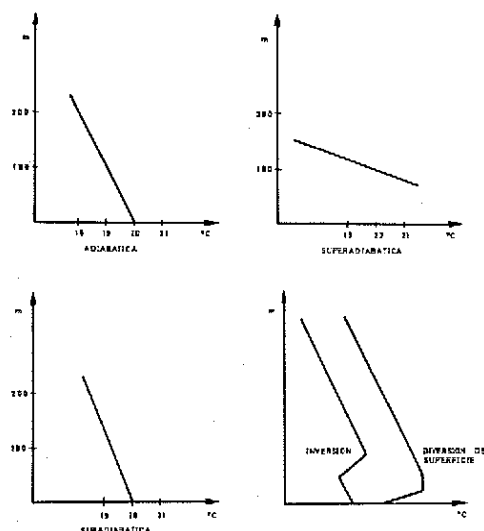
R es el t3rmino de las mismas dimensiones debido a la existencia de reacciones qu1micas.

La ecuaci3n en unos casos podr1 admitir simplificaciones de planteamiento tales como la consideraci3n de r3gimen permanente, la no existencia de fuentes y sumideros y el caso de poder despreciar el t3rmino de las reacciones qu1micas. Las condiciones de contorno podr1n variar notablemente de unos casos a otros, y las hip3tesis simplificadoras podr1n ser tambi3n debidamente razonadas. En general encontraremos la dificultad de encontrar soluciones anal1ticas, las posibilidades de procedimientos de c1lculo aproximados m1s o menos elaborados y la conveniencia de los ensayos e investigaciones de tipo experimental empleando escala reducida o escala natural con la necesaria puesta a punto de diferentes t3cnicas.

A lo largo de la siguiente exposición vamos a tratar de algunos estudios e investigaciones relacionados con este tema. Unos corresponden al grupo de temas estrechamente relacionados con el fenómeno y otros son casos concretos en los que tendremos ocasión de comentar el planteamiento inicial y las soluciones encontradas. Cuando correspondan a trabajos realizados en los que poseemos experiencia aportaremos nuestras impresiones. Basta recordar los temas citados como relacionados con el de transporte y difusión y las posibilidades de casos, del tema propiamente dicho, para comprender que la exposición podría tener una duración superior a las previsiones habituales de no ceñirnos a los considerados especialmente oportunos.

ESTUDIO DE CAPAS DE INVERSION DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA

Si consideramos las capas más bajas de la atmósfera comprendidas entre el suelo y varios centenares de metros, encontramos que la temperatura del aire decrece regularmente a medida que la altitud aumenta. En la diapositiva vemos cómo en el caso de situación neutra, el gradiente adiabático seco supone aproximadamente un grado Celsius de descenso por cada cien metros de elevación. El gradiente térmico superadiabático corresponde a un descenso más rápido de la temperatura con la altura y viene caracterizado por inestabilidad mientras el caso de subadiabático presenta comportamiento opuesto y supone estabilidad.



A veces puede suceder que a partir de una cierta altura la temperatura del aire deje de decrecer y aumente gradualmente hasta llegar a otra determinada altura desde la cual comienza nuevamente a decrecer. La zona comprendida entre las dos alturas citadas se llama capa de inversión del gradiente de temperatura. Estas capas pueden encontrarse a diferentes alturas recibiendo el nombre de inversión de superficie en el caso de quedar localizadas muy próximas al suelo.

Este fenómeno puede ser debido a diversas causas tales como naturaleza y relieve del suelo en el área considerada, radiación del sol, corrientes de convección, masas de nubes formando pantalla, masas de aire en movimiento como vientos calientes circulando a determinadas alturas, etc. Durante las horas centrales del día al ser más importante la insolación se producen situaciones de inestabilidad, mientras que tras la puesta del sol con el enfriamiento de la tierra es más probable la estabilidad y frecuente la inversión térmica; en todo ello influyen notablemente las condiciones topográficas y geográficas y las estaciones del año atenúan o refuerzan tendencias. Las zonas marítimas presentan condiciones distintas de las continentales, tanto en humedad como en variaciones de temperaturas, vientos locales, brisas, etc., éstas van acompañadas de la formación de capas de inversión. También en el fondo de los valles la situación es favorable a la presencia del fenómeno al penetrar o formarse capas de aire frío en las zonas bajas. Las situaciones de alta presión o anticiclones van unidas a calmas con descenso lento del aire y calentamiento con general tendencia a formación de inversiones.

El efecto de la inversión térmica en las capas más bajas de la atmósfera es de especial importancia para la contaminación del aire pues condiciona de forma grave la difusión de los contaminantes actuando como una pantalla interpuesta a su movimiento. Respecto de una emisión por chimenea por ejemplo, si la inversión queda por debajo de su boca de salida entonces las zonas habitadas próximas quedan en buena situación al dificultar el descenso de los humos emitidos; pero si la capa de inversión queda algo más elevada que la cúspide entonces se interpone en la elevación del penacho y provoca la caída hacia el suelo en zonas próximas a la base de la chimenea de los gases y partículas. Una inversión a muy baja altura (inversión de superficie) en una calle estrecha puede crear un grave problema respecto de la contaminación por los escapes de los vehículos. Otro caso tristemente frecuente es el de situaciones graves en zonas bajas habitadas de valles con industrias y otras actividades contaminadoras importantes en las proximidades que se presentan coincidiendo con situaciones de inversión térmica. Digamos también que graves episodios de contaminación como los de Donora y Londres en 1952 tuvieron lugar con condiciones meteorológicas con clara tendencia a formación de inversiones.

Se comprende el enorme interés que tiene el estudio de la presencia de capas de inversión del gradiente térmico de temperatura. En algunos países, por ejemplo, se hace necesario, desde hace unos años, presentar un detenido informe con los resultados del estudio de inversión al mismo tiempo que se adjuntan los resultados de inmisión como mínimo de un año de duración, a fin de razonar la procedencia de realizar la instalación de una importante actividad contaminadora como puede ser una Central Termoeléctrica. Se trata con ello de demostrar que no son de esperar situaciones superiores a las establecidas oficialmente para niveles de inmisión, ni por motivos de condiciones desfavorables de difusión ni por existencia anterior de una carga de contaminación próxima o quizás incluso superior a la correspondiente a la saturación. Los resultados, además, tanto de tipo meteorológico como de conocimiento de la carga fundamental del área, sirven de base para el proyecto de la instalación dado que permiten calcular la parte de inmisión residual que le va a corresponder en el supuesto de que se demuestre que procede su establecimiento. En tales países se lleva a cabo la búsqueda de emplazamientos que reúnan condiciones favorables, realizando estudios previos, y, una vez vistas las posibilidades, estudios detenidos pensando en disponer de opciones de elección con vistas a los planes de expansión futura de actividades industriales, etc.

Las mediciones meteorológicas a diferentes alturas comprendidas entre el nivel del suelo y centenares o millares de metros se realizan utilizando diversas técnicas. Para alturas bastante limitadas se pueden emplear torres que suelen ser de fácil transporte e instalación, y que permiten obtener las variaciones con la altura de la presión, la temperatura, la insolación, la humedad, la dirección y la velocidad del viento y que, disponiendo de una veleta bidireccional, permiten, con posterior tratamiento de los datos, determinar las desviaciones típicas de las componentes horizontal y vertical de las fluctuaciones de la dirección del viento correspondientes a distintos tiempos de observación con lo cual se caracteriza la turbulencia. Más interesantes resultan las técnicas de empleo de globos cautivos, globos libres y cohetes equipados de varios sensores correspondientes a los mencionados parámetros y que por medio de radio transmiten los datos que quedan registrados en las estaciones receptoras que van normalmente sobre vehículos y se transportan a las zonas de exploración.

Un concepto interesante en relación con el estudio de la contaminación del aire es el de la altura de la capa de mezcla. Su determinación para una determinada hora del día es habitualmente calculada con la ayuda de un sondeo nocturno o matutino de temperatura. Sobre el gráfico temperatura-altura correspondiente al último sondeo, se lleva la temperatura superficial del momento deseado y se busca la intersección, con la curva citada, de la pendiente conocida de situación de gradiente adiabático seco. El punto de intersección define la altura de la capa. Las variaciones de la altura pueden ser importantes, desde prácticamente cero hasta algunos kilómetros. Tiene interés también el concepto de valor medio de los máximos de altura de capa de mezcla que se ha visto resulta significativo en relación con las áreas en las que tienen lugar episodios de contaminación.

Entre nuestros proyectos de futuros trabajos se encuentra precisamente el estudio de la variación con la altura de la temperatura utilizando el sistema de globo cautivo hasta varios centenares de metros y el sistema de globo libre hasta 2.500 metros. Conocemos la existencia en esta área del fenómeno de inversión a través de la observación del comportamiento del penacho de chimeneas. Sabemos también, por la consideración y comentario de los expertos en meteorología de los datos, no muy completos por cierto, de que se dispone que para alcanzar un conocimiento mínimo de la situación es necesario un estudio de un mínimo de varios años de duración. Se confía en encontrar las facilidades y autorizaciones necesarias para sondear el espacio aéreo al mismo tiempo que por nuestra parte garantizamos actuar dentro de las disponibilidades de áreas y horario sin perturbar en absoluto las exigencias de seguridad de vuelo. No solamente nos preocupan las zonas próximas, sino también las posibles zonas de expansión industrial dado que en relación con lo que decimos antes de situación de carga fundamental de contaminantes, es clara la saturación y proximidad a la misma en ciertos núcleos dentro del área del Gran Bilbao. Como complemento confiamos contar con la dotación de medios meteorológicos correspondientes a estaciones fijas que permitan conocer los microclimas a tenor de los planes de actuación detallados por los expertos de la OMS en sus informes sobre Bilbao. Es en este sentido justo recordar que en algunas ocasiones ha participado la Junta de Energía Nuclear utilizando su torre y medios de trabajo, y también la gentileza y buena disposición para la colaboración del Servicio Meteorológico del Aeropuerto de Sondica y de algunas firmas industriales que poseen instalaciones propias. Por otra parte, entre los varios problemas

relacionados con el tema que se nos han presentado estos años, debemos recordar el fenómeno observado en la ladera del Monte Arriagas próxima a la ría de Asúa que describimos en nuestro trabajo sobre la contaminación del aire en Erandio (Bilbao) en 1969. La presencia de colinas y elevaciones que limitan la difusión horizontal hace estas investigaciones especialmente importantes.

Juzgamos que dadas las características de esta zona, las torres no resultan suficientes por su limitación de altura. Hasta ochocientos metros el sistema de globo cautivo se muestra eficaz. Consiste en un globo de varios metros de longitud y forma alargada que se llena de hidrógeno o helio momentos antes de su lanzamiento alcanzando un volumen de unos 25 m³ aproximadamente; a él va sujeto el equipo de radio-sondas que miden y transmiten temperatura, presión, grado hidrométrico, velocidad y dirección del viento, datos que son registrados en la unidad receptora montada en un laboratorio-móvil. El globo en este tipo va sujeto por cable que se recoge o suelta a voluntad al accionar el tambor sobre el cual va enrollado. Para corregir los datos de dirección de viento el equipo se completa con un teodolito. Provocando el lanzamiento de humo desde los globos se consiguen visualizar los movimientos de las masas de aire a alturas conocidas. Los globos libres permiten obtener datos hasta alturas muy superiores; pero tienen el inconveniente de no ser recuperables, si bien en muchas ocasiones los equipos de medición y transmisión son devueltos por correo desde el lugar de caída.

Los resultados obtenidos permiten determinar las desviaciones típicas de las componentes horizontal y vertical de las fluctuaciones de la dirección del viento, predecir las inmisiones tanto en casos normales como en casos de alarma y en casos desfavorables por motivos meteorológicos, estudiar la repercusión de emisiones anormales, la influencia de una elevación de chimenea, elaborar modelos, etc. Sin duda la puesta a punto de estas técnicas puede suponer contar con una herramienta muy interesante para orientar a los Organismos oficiales, satisfacer peticiones de estudios de firmas industriales, realizar trabajos de investigación, tesis doctorales y formación de personal.

INVESTIGACIONES SOBRE TRANSPORTE DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS A LARGAS DISTANCIAS

La sospecha de la existencia del fenómeno del transporte de contaminantes a largas distancias data de hace más de veinte años. En varios países del Norte de Europa se constataron hechos importantes tales como caída de nieve de color gris en zonas alejadas de actividades de emisión de suficiente importancia, recogida de agua de lluvia directamente en recipientes con características que no la hacían aprovechable como agua potable y la continuada elevación de la acidez de ríos y lagos con graves repercusiones, tales como la desaparición del salmón en algunos ríos noruegos.

El carácter supranacional que entrañan estos problemas exige la colaboración internacional. En Europa desde hace tres años el Consejo de la O.C.D.E. adoptó la decisión de investigar sobre el tema siguiendo el programa de cooperación técnica para la medida del transporte de contaminantes atmosféricos a larga distancia establecida tras dos años de estudios y trabajos preliminares. Catorce países europeos a diferentes niveles y Canadá como observador parti-

cipan en el programa cuyo objetivo principal es determinar la contribución a la contaminación de la atmósfera de una región de las fuentes locales y alejadas de compuestos de azufre teniendo en cuenta especialmente la acidez debida a las precipitaciones atmosféricas y a los depósitos de partículas.

Un interesante esfuerzo inicial para el desarrollo de los trabajos del programa, lo constituyó la normalización para la uniformización de aparatos y metodología a emplear por la diversidad de grupos colaboradores, de forma que los datos de emisiones, los resultados de las estaciones de medida al nivel del suelo, la recogida de muestras en aviones, el tratamiento de datos por ordenador y la interpretación de los resultados fueran concordantes y representativos.

De los análisis y estudios programados resultan los más llamativos los llevados a cabo por medio de aviones. Los vuelos se realizan según trayectorias previamente confirmadas como efectivamente determinantes de transportes dignos de estudio y cuando las condiciones meteorológicas predichas con unas horas de adelanto permiten esperar la obtención de concentraciones de cierta importancia. Las alturas de la capa de mezcla encontradas han llegado a los 2.000 m. Las determinaciones mínimas comprenden la medición de la concentración de SO_2 con precisión inferior a $1 \mu\text{g. SO}_2/\text{m}^3$, la concentración en partículas, la determinación de sulfatos en las partículas, la temperatura y humedad del aire y las condiciones de nubosidad. Se consideran también de interés los datos sobre concentraciones de partículas de compuestos de nitrógeno, la composición química de las muestras de gotitas procedentes de las nubes, y el conocimiento de la evolución a lo largo de su desplazamiento del contenido y distribución de los compuestos de azufre en fase gas y polvo de las masas de aire a fin de sacar consecuencias sobre las modificaciones físico-químicas que suceden durante el transporte.

Las observaciones y estudios hasta el momento llevados a cabo han permitido demostrar que el transporte a largas distancias se da en ciertas circunstancias específicas. Se han encontrado explicaciones meteorológicas ciertamente interesantes. Al principio se pensó que las situaciones de contaminación en las zonas afectadas de los países escandinavos deberían explicarse por una situación de fuerte concentración en el área alejada y responsable de la emisión seguida de un transporte a larga distancia; sin embargo, se ha comprobado que a veces se ha producido el transporte sin una previa concentración, lo cual puede deberse a la existencia de vientos violentos que transportan rápida y directamente los contaminantes sin que lleguen a tener lugar los mecanismos de degradación de tipo físico-químico.

La confirmación de los modelos más apropiados y los resultados finales, serán sin duda de extraordinario valor y servirán de base para profundizar en el conocimiento de estos fenómenos que por su gran importancia deberán en el futuro ser tenidos en cuenta en los planteamientos de estudios y en la adopción de decisiones relacionados con la difusión y transporte de contaminantes.

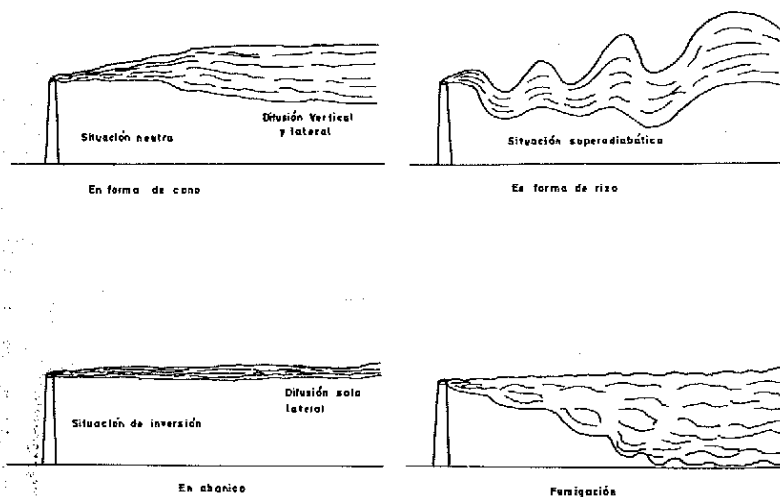
SOBRE LAS EMISIONES POR CHIMENEAS

Especialmente interesantes en relación con las actividades industriales son las investigaciones sobre emisiones por chimeneas. Con estas, como veremos,

si se procede de forma racional y dentro de ciertas limitaciones, se pueden emitir o lanzar a la atmósfera los contaminantes a una altura suficiente de forma que queden afectadas amplias zonas situadas en las direcciones de los vientos reinantes; pero se consiguen no sobrepasar unas situaciones de inmisión previamente establecidas como aceptables.

La ecuación fundamental que debe aplicarse es la ya conocida que expresa la conservación de la masa correspondiente a un volumen elemental, pero se hace necesario preparar su utilización y, ante la dificultad de su tratamiento, veremos la posibilidad de introducir simplificaciones que naturalmente limitarán la precisión de los resultados si bien con la contrastación experimental se han conseguido no sólo elaborar recomendaciones de cálculo, sino también reglamentaciones oficiales vigentes en diversos países.

Respecto de la emisión, además de las características de la chimenea, los datos principales son el caudal, la velocidad de salida, la presión, la temperatura, la composición de gases y el tamaño de partículas de los contaminantes. La orientación y forma del penacho se ve influenciada por las condiciones meteorológicas. En la figura aparecen las formas de los penachos correspondientes a situaciones de gradiente adiabático, superadiabático y subadiabático que son respectivamente en forma de cono, en rizados y en abanico. Cuando coincide la situación neutra con viento superior a 10 m s^{-1} se aprecia la forma de penacho en cono que se caracteriza por una rápida difusión. En condiciones de gran estabilidad y con terreno llano la forma de penacho en abanico se prolonga de forma visible a lo largo de kilómetros. Si las alturas de chimeneas no son suficiente-

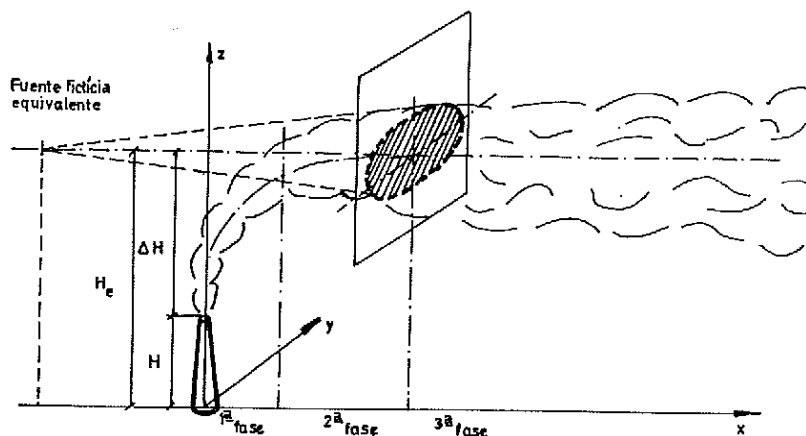


mente elevadas el penacho en forma de rizados que corresponde a condiciones inestables, puede ocasionar problemas serios de contaminación. Durante el día es frecuente observar cambios notables. En las horas centrales del día cuando la insolación es más importante, se producen situaciones de inestabilidad, mientras que de noche al darse la situación opuesta es más probable la estabilidad y en ciertos casos la inversión térmica. Ya hemos comentado la importancia de este fenómeno sobre la difusión y transporte y los factores que influyen en su

formación. La figura recoge también el caso de fumigación, fenómeno también importante por su repercusión contaminante y que a veces se presenta al despuntar el día tras una situación de inversión cuando el calentamiento de las capas bajas del aire provoca la brusca desaparición de la forma de penacho en abanico y se produce una situación de transición con tendencia a la forma de rizados, con notable intensidad y con el aspecto que se aprecia en la figura.

Una consideración detenida de los fenómenos que suceden a la salida de la chimenea nos lleva con Priestley a diferenciar tres fases sucesivas: una primera de emisión en la que la energía predominante es la del mismo penacho debida a su velocidad y densidad relativa, una segunda de adaptación con disminución

Sobreelevación del penacho



de la energía inicial al mismo tiempo que se acentúan la difusión y curvatura con influencia del viento exterior y finalmente una tercera fase de difusión en la que la fuente de energía que asegura el transporte y difusión procede del movimiento atmosférico. Una simplificación generalmente introducida consiste en considerar la evolución del penacho equivalente a un fenómeno en dos etapas como aparece esquemáticamente en la figura. En primer lugar tenemos una sobreelevación del penacho respecto de la altura real de la chimenea como consecuencia de los mencionados aspectos cinético y térmico pudiendo considerar despreciable la difusión y después una etapa de difusión horizontal en la atmósfera refiriendo las condiciones de emisión a una fuente puntual ficticia situada en un punto a la izquierda de la chimenea y tal que produzca en la sección de arranque de la fase real de difusión las mismas condiciones de perfiles de concentración. Se estima que esta simplificación no introduce errores importantes respecto de distancias suficientemente alejadas del foco. Contemplado así el fenómeno, vemos que se puede hablar de una altura efectiva de difusión simbolizada por H_e que es la suma de la altura real de la chimenea o altura geométrica más la sobreelevación del penacho.

Tras lo dicho se comprende que tanto sobre el cálculo de la sobreelevación como por obtener valores elevados de la misma, se hayan orientado numerosos trabajos de investigación. En la figura se recogen algunas de las expresiones

BOSANQUET	$\Delta H = \frac{4,77}{1+0,43 \frac{\bar{U}}{W_o}} \cdot \frac{\sqrt{Q W_o}}{\bar{U}} + 6,37 g \frac{Q \Delta T}{\bar{U}^3 T_1} \left(\log^2 \frac{2}{J} - 2 \right)$ $J = \frac{\bar{U}^2}{\sqrt{Q W_o}} \left(0,43 \sqrt{\frac{T_1}{g G}} - 0,28 \frac{W_o}{g} \frac{T_1}{\Delta T} \right) + 1$ Q: Caudal de gases a T_1 (m^3/s) T_1: Temperatura a la cual la masa de la unidad de volumen del efluente es igual a la del aire a T_a ($^{\circ}K$) g: Aceleración de la gravedad G: Constante ligada al gradiente vertical de temperatura potencial ($^{\circ}K/m$)
C.O.N.C.A.W.E.	$\Delta H = 0,047 \frac{q_h^{0,58}}{\bar{U}^{0,70}} \quad \Delta H = 0,175 \frac{q_h^{0,50}}{\bar{U}^{0,75}}$ q_h: Emisión térmica (cal/s) Si $\bar{U}$ entre 1 y 3 m/s.
BRIGGS	$\Delta H = 1,6 F^{1/3} \bar{U}^{-1} (3,5 X^*)^{2/3}$ $X^* = 14 F^{5/8} \text{ para } F < 55 m^4/s^3$ $X^* = 34 F^{2/5} \text{ para } F > 55 m^4/s^3$ $F = \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_a} \right) g W_o \frac{D^2}{4}$ ρ_o: Masa de la unidad de volumen de gases en la emisión (Kg/m^3) ρ_a: Masa de la unidad de volumen del aire ambiente (Kg/m^3)
HOLLAND	$\Delta H = \frac{1,5 W_o D + 4,1 \cdot 10^{-5} q_h}{\bar{U}}$ D: Diametro interior de la chimenea (m)
LUCAS	$\Delta H = 24 q_h^{1/4} / \bar{U}$
RAUCH	$\Delta H = 36 (Q \Delta T)^{1/4} / \bar{U}$
STÜMKE	(a) $\Delta H = 2,92 (1,5 W_o \cdot D + 0,012 Q \Delta T) / \bar{U}$ (b) $\Delta H = \left[1,5 W_o D + 65 D^{3/2} \left(\frac{\Delta T}{T_a} \right)^{1/4} \right] / \bar{U}$

encontradas en los últimos años que nos parecen más interesantes por su empleo frecuente. Se refieren a salida libre de obstáculos; si bien algunas tienen un fundamento teórico todas han sido confirmadas por la experimentación. En cuanto a la consecución de superiores sobreelevaciones cabe citar el interés de cuidar detalles tales como la obtención de importantes velocidades de salida sin enfriamiento de gases, calorifugado de paredes de conductos, empleo de procedimientos especiales, etc. A veces se dan casos como instalaciones antiguas con grandes dificultades para elevar alturas de chimeneas, limitaciones de altura por proximidad a aeropuertos, exigencias durante ciertas horas ligadas a situaciones meteorológicas o de contaminación desfavorables, en los que las soluciones apuntadas pueden ser muy interesantes. Entre los procedimientos que gozan de mayor favor podemos citar el lanzamiento de aire a gran velocidad de forma periférica por un tubo coaxial que rodea al conducto de salida y la adaptación de un dispositivo en la boca de salida que procura obtener un perfil de velocidad de los gases con la menor tendencia al arrastre del aire ambiente circundante.

Para el tratamiento de la fase de difusión ya hemos indicado que se aplica la ecuación fundamental. Habitualmente se supone que son despreciables los términos representativos de presencia de fuentes o sumideros y de reacción entre contaminantes, si bien posteriormente trataremos de forma particular estos casos. La resolución presenta dos caminos: el analítico y el numérico, además de las técnicas experimentales a las que también dedicaremos especial atención.

Tratamiento analítico. Este tratamiento hace necesario establecer varias hipótesis tales como movimiento en régimen permanente y unidireccional, difusión despreciable en la dirección longitudinal en relación con la convección, difusividades constantes o de evolución sencilla, forma conocida de los perfiles

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\kappa_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa_z \frac{\partial \bar{c}}{\partial z} \right)$$

BOSANQUET PEARSON	$\bar{c}_x = \frac{Q}{\sqrt{2\pi p q \bar{u}}} \cdot \frac{1}{x^2} \exp \left(-\frac{H_0}{p x} - \frac{y^2}{2 q^2 x^2} \right)$	$\kappa_y \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \quad \kappa_z \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}$ $\bar{c}_x$ Concentración media en el suelo función de x e y .
SUTTON	$\bar{c} = \frac{Q}{u_0 \sigma_y \sigma_z} \exp \left(-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2} \right) \left(\exp \left(-\frac{(z+H_0)^2}{2 \sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{(z-H_0)^2}{2 \sigma_z^2} \right) \right)$	$\kappa_y = \frac{Q}{2} \frac{d}{dx} (\sigma_y^2) = \frac{Q}{2} \frac{d}{dx} \left(\frac{\sigma_y^2}{2} (2n)^{-1/n} \right)$ $\kappa_z = \frac{Q}{2} \frac{d}{dx} (\sigma_z^2) = \frac{Q}{2} \frac{d}{dx} \left(\frac{\sigma_z^2}{2} (2n)^{-1/n} \right)$ $\bar{c}$ - Concentración media en un punto cualquiera del penacho. n parámetro característico de la turbulencia atmosférica. $\frac{\partial \bar{c}}{\partial x} = \left(\frac{z}{z_1} \right)^{2n}$
PASQUILL GIFFORD	$\bar{c} = \frac{Q}{2 \pi \sigma_y \sigma_z \bar{u}} \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right) \left(\exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z+H_0)^2}{\sigma_z^2} \right) + \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(z-H_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right)$	$\sigma_y \sigma_z$ Desviaciones típicas de los perfiles de concentra- ción dados en función de las clases de estabili- dad en la atmósfera.

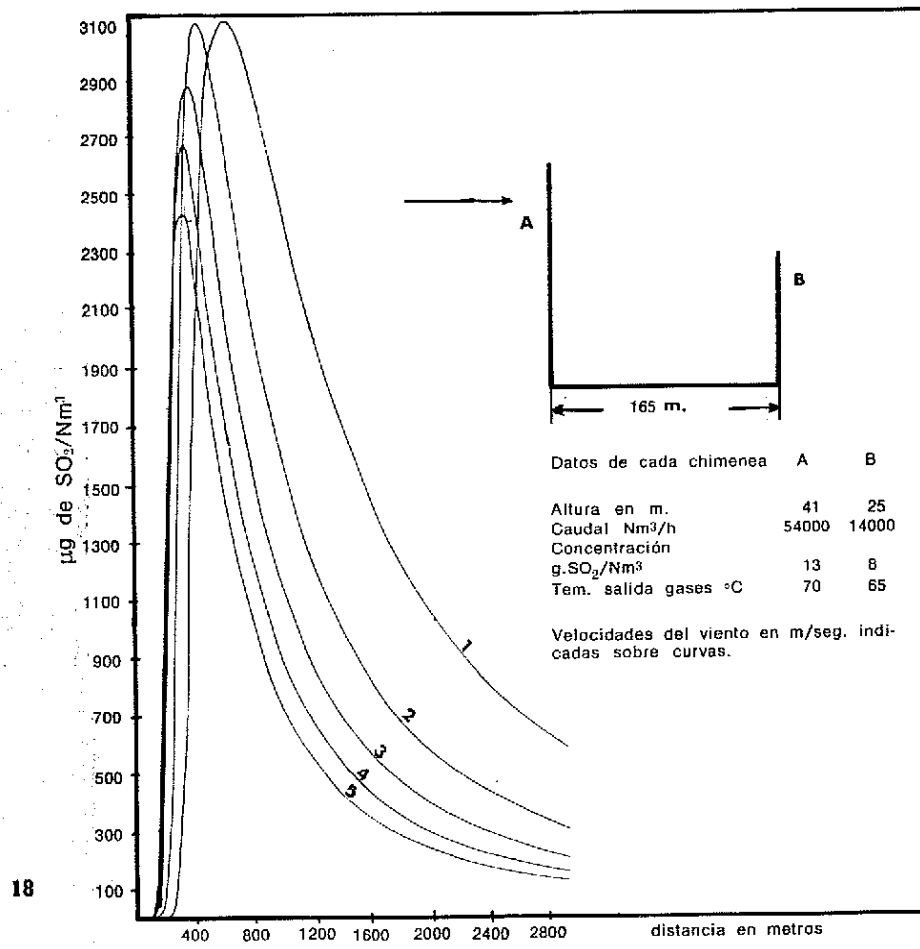
de concentración, etc. En la figura aparecen las conocidas e interesantes soluciones para gases de Bosanquet y Pearson, Sutton y Gifford-Pasquill. Los parámetros meteorológicos que en ellas participan están en general definidos para una escala de tiempos determinada y son obtenidos por tablas o ábacos basados en numerosos trabajos experimentales. Las desviaciones típicas σ_y y σ_z

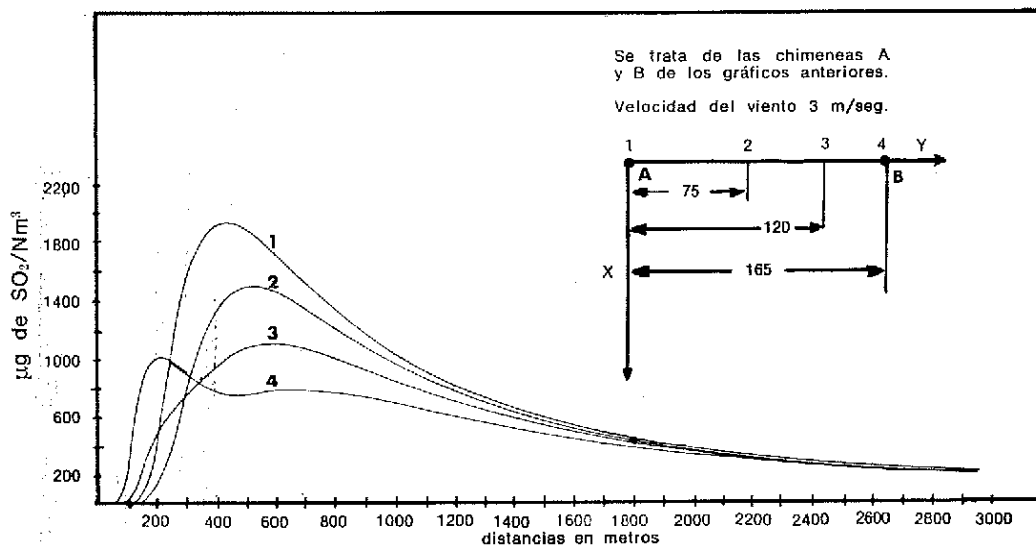
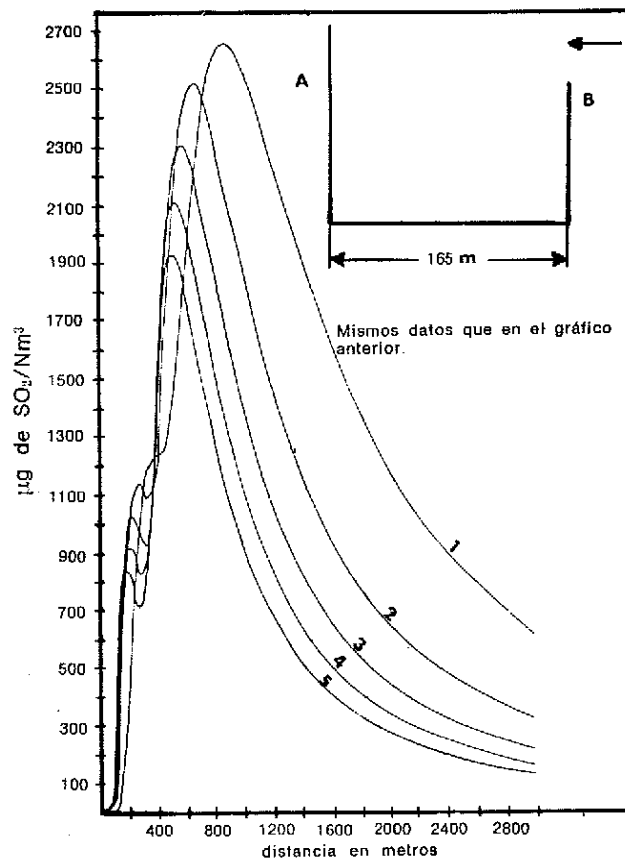
pueden obtenerse directamente por medición con ayuda de una veleta bidireccional y un calculador analógico. Es clásica la tabla adjunta sobre las seis clases de estabilidad de la atmósfera para la solución Gifford-Pasquill. En las ex-

	D i a			N o c h e	
Velocidad Viento Superficie (a 10 m.) m/ s	Insolación			Nubosidad	
	Fuerte	Media	Ligera	Cielo cubierto o ≥ 4/8 cubierto	≤ 3/8 cubierto
< 2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

presiones figura la altura efectiva que ya hemos aclarado se calcula en función de la sobre elevación del penacho. No se tiene en cuenta la presencia de obstáculos en el planteamiento básico; pero numerosos trabajos dan orientaciones sobre la forma de introducir ciertas correcciones para tenerlas en cuenta.

Dada la complicación de las expresiones de cálculo resultantes, se comprende el innegable interés de elaborar programas para tratamiento en ordenadores para evitar cálculos muy laboriosos y facilitar la obtención de datos en tratamientos de estudios de influencias al introducir variaciones. De esta for-





ma se resuelven entre otros los casos de determinar la concentración sobre el suelo en cualquier punto, valor de la concentración máxima, distancia en que se produce el máximo, influencia del viento, altura de chimenea que produciría una concentración fijada, superposición de dos o más focos, elección de puntos

de localización para los sensores de una red de vigilancia y control, etc. En las tres figuras anteriores presentamos ejemplos de soluciones obtenidas por nosotros respecto de ciertas instalaciones que afortunadamente ya hace algunos años dejaron de funcionar.

Vía numérica. En los últimos años el tratamiento por vía numérica está siendo realizado por varios investigadores y se prevee que va a ser muy utilizado en el futuro. Permite una mayor amplitud en la elección de las condiciones límites, en la variación de los parámetros de difusión y en general lleva a considerar las condiciones más próximas a la realidad conocida. Por ejemplo puede tener en cuenta el efecto del terreno, los ejes de coordenadas pueden variarse en cada tramo de forma que un eje coincida con la dirección del derrame.

Un caso de aplicación del método de resolución numérica que merece especial mención es el que ha servido de base a la legislación de la Unión Soviética y a la de algún otro país europeo. Como estimamos muy interesantes sus resultados y probable su consideración respecto de los trabajos previos a la elaboración de recomendaciones para nuestro país, vamos a dedicarle una atención especial. En la obtención de la expresión principal se supone que la componente de la velocidad u , varía con la altura según una ley logarítmica, que K_z varía linealmente con z hasta el límite de la capa superficial y que luego adopta valores en relación con las condiciones de estabilidad, que K_y varía proporcionalmente a la velocidad del viento y que K_x es prácticamente despreciable, que el terreno es llano y que la sobreelevación del penacho se debe al doble motivo de velocidad ascensional inicial y de energía térmica relativa de los gases en relación con el medio ambiente. Principalmente el estudio se preparó y se ha confirmado experimentalmente en relación con las emisiones de Centrales Térmicas. La concentración máxima y la velocidad del viento correspondiente vienen dadas por las siguientes fórmulas:

$$C_m = \frac{A \cdot m \cdot M_1}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \text{ [mg/m}^3\text{]} \quad U_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \text{ [m/s]}$$

M_1 representa la emisión del contaminante en g/s.

H es la altura de la chimenea expresada en m.

V_1 es el volumen de gases emitidos en m³/s.

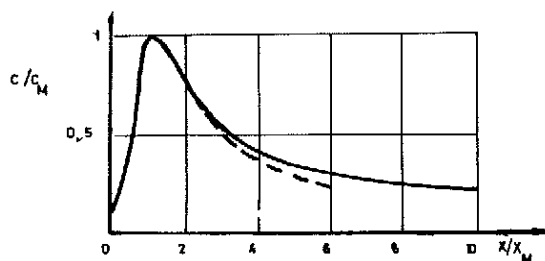
ΔT es el calentamiento relativo en °C.

A es un coeficiente que depende de las condiciones meteorológicas y de la rugosidad superficial (existen valores recomendados para las distintas regiones del territorio).

m es otro coeficiente que depende de la velocidad de salida de gases variando escalonadamente entre 1 y 0,8 para valores de 10-15 a 30-35 m/s.

En cuanto a la distancia a la que corresponde la máxima concentración, se obtiene el resultado aproximado y realmente práctico de $X_m = 20 H$. La concentración a lo largo del eje se puede obtener por la aplicación del siguiente gráfico que presenta C/C_m en función de X/X_m .

$$C_M = \frac{A_m M F}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V \Delta T}}$$



La superposición de focos se resuelve también de forma sencilla. En el caso de chimeneas de dimensiones aproximadamente iguales y próximas entre sí de manera que entre las dos más distantes no se sobrepase la distancia de tres veces su altura, se considera que prácticamente la concentración resultante es suma de los valores individuales. De esta forma procede la fórmula habitualmente presentada y referida a N focos:

$$C_M = \frac{A_m M}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V \Delta T}} \text{ en la que } M = N M_1 \text{ y } V = N V_1$$

Si las chimeneas son de características diferentes o distan entre sí más de la distancia mencionada, se puede proceder aproximadamente superponiendo los valores de concentraciones para X variable a través del cálculo previo individual de los C_M y X_M correspondientes a cada caso y aplicando el gráfico anterior. Además de los sumandos obtenidos deberá tenerse en cuenta el valor de fondo.

Ya hemos comentado las limitaciones que establecen para la validez de los resultados. También las condiciones meteorológicas muy desfavorables como situaciones de inversión térmica, suponen casos en que los resultados experimentales exceden notablemente de los valores calculados; pero en general la experimentación ha sido muy importante y la concordancia buena. Para casos especiales tales como relieves de terreno en forma de valle disponen de programas de cálculo particulares que aplican como tratamiento que sustituye al habitual cuando el caso lo requiere a juicio de los expertos oficiales responsables.

Caso de partículas. Todo lo hasta aquí expuesto es válido para gases y por extensión para partículas de pequeño diámetro cuya velocidad de sedimentación pueda considerarse despreciable.

Siguiendo con el tratamiento dado por los investigadores rusos, la ecuación de partida a considerar pasa a ser ahora:

$$U \frac{\delta c}{\delta x} - W \frac{\delta c}{\delta z} = K_1 \frac{\delta^2 c}{\delta y^2} + \frac{\delta}{\delta z} K_2 \frac{\delta c}{\delta z}$$

En la que W representa la velocidad de sedimentación que tiene sentido opuesto al de crecimiento de las coordenadas z del triedro trirectángulo fundamental de referencia.

La resolución de la ecuación con una detenida confirmación experimental ha conducido a una generalización de la fórmula mencionada para gases en la que la influencia del efecto de sedimentación aparece reflejada a través del factor F . La expresión queda así:

$$C_M = \frac{\Lambda m M F}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V \cdot \Delta T}} \quad [\text{mg/m}^3]$$

F vale la unidad para anhídrido sulfuroso y otros gases e impurezas. En casos de partículas los valores de F son superiores indicándose de forma aproximada su valor en función de su naturaleza y tamaño. Para cenizas procedentes de centrales Térmicas F vale 2 si el rendimiento del separador de polvo no es inferior al 90% y vale del orden de 2,5 para rendimientos inferiores.

Las concentraciones a lo largo del eje se pueden calcular también considerando el gráfico C, C_M función de X/X_M . A partir de X/X_M aproximadamente igual a dos, se aprecia en el gráfico el trazado discontinuo que corresponde a las partículas mientras que hasta dicho valor la coincidencia entre ambas curvas corresponde al trazo único. Este comportamiento resulta realmente interesante.

Por otra parte debemos citar la expresión de Bosanquet por su frecuente empleo. El valor medio del polvo sedimentado sobre un sector de 45 grados a una distancia determinada viene dado por la siguiente fórmula:

$$\bar{\omega} = \frac{0,31 a Q}{H_e^2} f\left(\frac{V_s}{u}, \frac{X}{H_e}\right) \quad [\text{mg/cm}^2 \text{ y mes}]$$

a representa la frecuencia de la dirección del viento respecto del sector de 45 grados.

Q es la emisión de masa de polvo en la unidad de tiempo.

H_e es la altura efectiva de la emisión.

$f\left(\frac{V_s}{u}, \frac{X}{H_e}\right)$ es una función que se introduce recurriendo a la tabla correspondiente en la que se entra con las relaciones adimensionales V_s/u y X/H_e que representan respectivamente la velocidad de sedimentación partida por la velocidad del viento y el cociente entre la distancia y la altura efectiva de la emisión.

Si se desea conocer la concentración bajo el eje del penacho se puede aplicar:

$$\omega = \frac{4,43 \bar{\omega}}{a} \quad \text{en la que desaparece la dependencia de } a$$

Estas fórmulas se suelen aplicar a partir de tamaños de partículas de diámetros superiores a cinco micras, si bien en muchos casos si las partículas no exceden de quince o veinte micras se las asimila en su totalidad a gases, procediendo así de forma aproximada. Al aplicar las fórmulas se hace necesario considerar dentro del tiempo de cálculo escalones de velocidad de viento diferentes y escalones de velocidades de sedimentación de partículas y realizar posteriormente la suma de valores.

Legislaciones y recomendaciones sobre difusión y transporte de las emisiones por chimenea. En estos momentos son ya bastantes los países que tienen legislaciones sobre el tema, también son numerosas las fundaciones de investigación, organismos internacionales, grupos de industrias, etc. que han elaborado recomendaciones sobre métodos de cálculo de alturas mínimas de chimeneas para, en función de unas condiciones meteorológicas y de emisión conocidas, de una presencia de obstáculos próximos a tener en cuenta y de una carga fundamental de contaminantes del área, conseguir sobre las zonas afectadas unos valores de inmisión a su vez prefijados.

En nuestro país el Decreto 833/1975 por el que se desarrolla la Ley 38/1972 de protección del ambiente atmosférico regula los valores de inmisión para los contaminantes principales y establece también límites de emisión aceptables para distintos tipos de actividades hallándose ya anunciada la aparición en el futuro de la regulación sobre difusión y transporte de contaminantes. Esta ausencia de disposición oficial no ha supuesto sin embargo que los permisos de implantación de importantes actividades industriales realizadas en los últimos años no hayan requerido la presentación de un detenido estudio de este problema.

Entre las legislaciones y recomendaciones existentes merecen especial mención las de Alemania Federal, Gran Bretaña, Suecia, Unión Soviética, Checoslovaquia, República Democrática de Alemania, Francia, Japón, las de diferentes Estados Norteamericanos como New Jersey, Georgia, etc., el método americano propuesto por M. Stern, el de A.S.M.E., el EPA (Environmental Protection Agency) y las recomendaciones CONCAWE (Conservation of Clean Air and

PAIS O ENTIDAD PROMOTORA	FÓRMULA DE DIFUSIÓN	SOBRELEVACIÓN DEL FENÓMENO
REPÚBLICA FEDERAL ALEMANA	WIPPERHANN	HOLLAND-STÜCKE
FRANCIA	BERLYAND - C.I.T.E.P.A.	
GRAN BRETAÑA	SUTTON	BOSANQUET - NONHEBEL
SUECIA	HÖGSTRÖM	BRIGGS - BRINSEFELT
PROYECTO V.D.I. 2269	WIPPERHANN	BRIGGS
MÉTODO C.O.N.C.A.W.E.	SUTTON - WIPPERHANN	BRUNHAGE
REPÚBLICA DEMOCRÁTICA ALEMANA	BOSANQUET - PEARSON	BOSANQUET
EPA	PASQUILL - GIFFORD	HOLLAND
U.R.S.S.	BERLYAND	

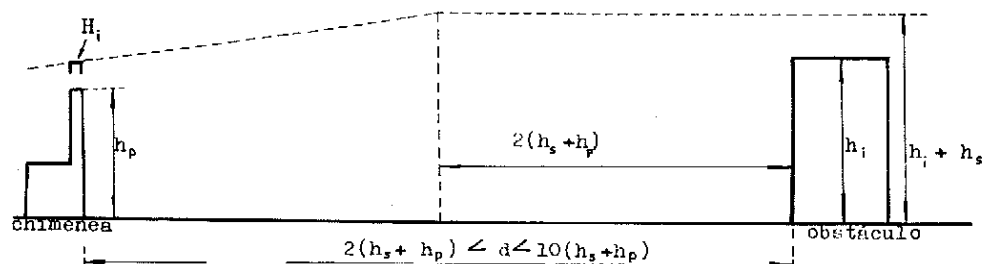
Water in Western Europe). Algunas son muy completas mientras otras son sólo parciales (se refieren a gases o polvo). En el gráfico anterior presentamos un cuadro en el que se citan las fórmulas de difusión y las de sobreelevación del penacho que han servido de base para algunas de las legislaciones y recomendaciones más caracterizadas.

$$H_0 \geq H_i \text{ ó } h_p$$

Caso de SO_2

$$H_i = \frac{5}{4} (h_i + h_s) \left(1 - \frac{d}{10(h_s + h_p)} \right)$$

$$h_p = \sqrt{\frac{340 \cdot q}{CM}} \sqrt[3]{\frac{1}{R \cdot \Delta T}}$$

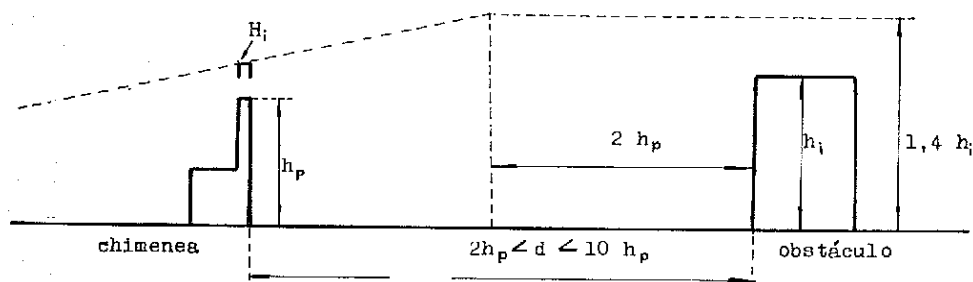


Caso de partículas finas

$$H_i = \frac{7}{4} h_i \left(1 - \frac{d}{10 h_p} \right)$$

si $d \geq h_p$, $H_i = 1,4 h_i$

$$h_p = \sqrt{\frac{680 \cdot q}{CM}} \sqrt[3]{\frac{n}{R \cdot \Delta T}}$$



- H_0 es la altura mínima de la chimenea en metros.
- h_i es la altura del obstáculo en metros.
- h_s es la altura complementaria en metros, definida en tablas.
- d es la distancia en metros.
- q es la emisión en kg/h , del contaminante.
- CM es la concentración máxima admisible expresada en mg/m^3 y referida a 24 horas.
- n es el número de chimeneas existentes situadas a una distancia horizontal inferior a $2h_p$ del emplazamiento de la chimenea estudiada.
- R es el caudal de gases emitidos expresado en m^3/h .
- ΔT es la diferencia en grados Celsius entre la temperatura de los gases y la del medio ambiente.

En el caso de Francia vemos que se basa en los hallazgos de los investigadores rusos con una importante aportación del organismo nacional de coordinación de la investigación CITEPA que a su vez ha tenido presente la labor

La aplicación de las distintas expresiones y métodos de cálculo es lógico que conduzca a resultados en que la concordancia es sólo buena cuando se trata de casos que pueden considerarse derivados unos de otros. Es frecuente encontrar trabajos con la comparación de soluciones correspondientes a distintos procedimientos para tipos de instalaciones definidos y en función de la variación de algún parámetro. En el siguiente gráfico reproducimos un estudio comparativo en el que se aprecian claramente las diferencias en los resultados.



Simulaciones a escala reducida. A lo largo de la exposición precedente hemos resaltado en varias ocasiones las dificultades de poder considerar en los estudios y tratamiento del problema de la difusión y transporte de contaminantes factores tales como el relieve del terreno, la presencia de edificios y obstáculos en general y los tipos de situaciones micrometeorológicas. Hemos insistido en la confirmación experimental y en la necesidad, en determinados casos, bien por su elevada potencia bien por sus características muy particulares, de recurrir a estudios especiales. Las investigaciones a escala reducida resultan un eficaz procedimiento para responder a estas exigencias.

A nuestro juicio, la simulación hidráulica presenta un extraordinario interés. Tenemos solicitada una ayuda económica para destinarla a poner a punto esta técnica que juzgamos representa un auxiliar muy valioso para casos especiales, dado el desarrollo alcanzado en su aplicación. Se suele trabajar invirtiendo la posición de los focos emisores respecto de la actuación de la gravedad de forma que la emisión de gas caliente es simulada por la de fluido más pesado que el correspondiente al ambiente. De forma sencilla se reproducen el relieve y las rugosidades locales así como las velocidades y direcciones de vientos y las diferencias de densidades ligadas a variaciones de la temperatura que concretamente se simulan por el empleo de soluciones de concentraciones adecuadas. Las mediciones se realizan con relativa facilidad gracias al empleo de soluciones salinas ionizadas que permiten la posibilidad de utilizar un método eléctrico simple con lectura o registro instantáneo. Por otra parte la gran facilidad de visualización permite obtener magníficas fotografías y cintas cinematográficas de la evolución del fenómeno e igualmente se pueden obtener registros por procedimientos colorimétricos de las isoconcentraciones correspondientes al nivel del suelo, etc. Hemos citado la contribución de estos estudios al conocimiento de la influencia de obstáculos, también han sido interesantes las aportaciones al conocimiento de sobreelevaciones de penachos o salidas de emisiones a temperaturas inferiores a la del medio ambiente, y sus posibilidades son muy estimables en relación con fenómenos de inversión térmica, brisas de valles, brisas de mar y tierra en zonas costeras, casos en los que la repercusión suele ser importante respecto a los riesgos de contaminación.

Otro procedimiento de simulación a escala reducida utilizado frecuentemente es el del túnel aerodinámico. El perfeccionamiento de las instalaciones ha sido importante en los últimos años. La reproducción de las variaciones del viento en el tiempo y en el espacio se consigue perturbando el derrame producido por medio de diferentes artificios. Las mediciones se hacen por visualización y también por determinaciones de tipo físico empleando un gas trazador para las emisiones. Este procedimiento está especialmente indicado para el estudio de presencia de obstáculos y efectos de estelas, mientras que la similitud térmica aquí presenta grandes dificultades.

Investigaciones sobre el terreno utilizando trazadores. La idea de estudiar la difusión y transporte de contaminantes directamente sobre el terreno utilizando un trazador es sin lugar a dudas muy atractiva. Con este procedimiento, si el trazador es adecuado, se tienen en cuenta todos los parámetros que condicionan el fenómeno mientras que con los procedimientos matemáticos o a escala reducida nos vemos limitados haciendo hipótesis simplificadoras e introduciendo limitaciones que nos separan de las condiciones reales con la consiguiente disminución de precisión y rigor. No obstante, debemos conceder que

estos otros procedimientos permiten con gran facilidad introducir variaciones en los parámetros y realizar con rapidez estudios completos con costos de funcionamiento notablemente inferiores. Teniendo, pues, en cuenta que los gastos de instalación y puesta a punto de estas investigaciones con trazador son asequibles, se comprende que en numerosos centros de trabajo como el nuestro se les haya dedicado gran atención y se les utilice en combinación con algunas o varias de las otras técnicas.

Un trazador es un compuesto extraño que se introduce en los humos, que se debe dispersar exactamente como el contaminante que se desea estudiar y que se analiza con muy alta precisión en el medio ambiente de la zona afectada. Se emplea en proporciones pequeñas, debe ser fácil de utilizar, no debe reaccionar con los otros compuestos en presencia, debe ser prácticamente inexistente en el medio ambiente, debe ser absolutamente inofensivo y debe ser detectado y medido en concentraciones extraordinariamente bajas. Entre los trazadores utilizados podemos citar la uranina, las sales de indio y el hexafluoruro de azufre.

En nuestros trabajos sentimos especial necesidad de comprobar el contaminante anhídrido sulfuroso como sucede también en la mayor parte de los casos. En un principio pensamos en la utilización de un elemento radiactivo o de un metal radiactivable lanzado en forma atomizada, pues disponíamos de los medios de trabajo correspondientes al reactor nuclear Arbi e instalaciones auxiliares; pero tras comprobar los problemas que las dos posibilidades presentaban, nos decidimos por seleccionar el gas hexafluoruro de azufre de gran sencillez de lanzamiento, que se comporta como el contaminante. Tuvimos además la posibilidad de presenciar y discutir su utilización en detalle con la firma Société Nationale des Petroles d'Aquitaine que gentilmente nos invitó a visitar sus laboratorios con motivo de la realización de trabajos en el sur de Francia.

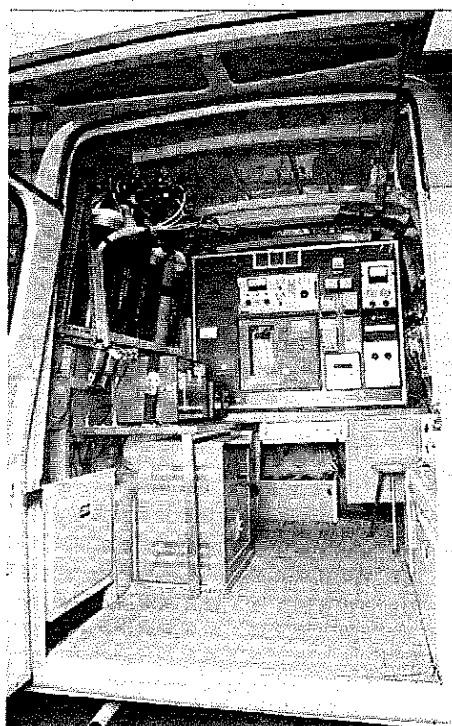
Esquemáticamente la actuación para el estudio de la difusión y transporte consiste en las siguientes operaciones tras conocer, con una anterioridad de unas horas, que las predicciones meteorológicas corresponden a la situación que nos interesa:

- Determinación de las condiciones meteorológicas del área. Especialmente dirección y velocidad del viento en estación próxima a chimenea. (Cuando se dispone de medios tal como globo cautivo con radiosonda interesa velocidad y dirección del viento en altitud, reparto estadístico durante la duración del lanzamiento y gradiente térmico).
- Comprobación de las condiciones de emisión en cuanto a contaminante, caudal, presión y temperatura.
- Lanzamiento de gas trazador por base de foco emisor mediante introducción en el eje de la conducción de salida de un caudal previamente calculado que se deja salir de la botella de gas y se comprueba por caudalímetro. Cada lanzamiento suele durar 40 minutos. El grado de dilución se fija de acuerdo con la sensibilidad del procedimiento de análisis de la inmisión.
- Captación durante el tiempo de lanzamiento del trazador en inmisión empleando bolsas Sarán y preferiblemente dispositivos de captura crio-

génica a base de nieve carbónica dispuestos en la dirección del viento en áreas distantes de la base de la chimenea entre uno y treinta kilómetros en varios escalones y con una abertura dependiente del grado de estabilidad horizontal del viento. La preparación de esta operación exige un detenido reconocimiento previo del terreno tras disponer de los mapas del área, del historial meteorológico y también tanto para la captación como para el lanzamiento es muy conveniente conocer los resultados de un estudio matemático de la dispersión.

- Análisis de las muestras recogidas por cromatografía en fase gaseosa con detector de captura electrónica. Tras la puesta a punto y la obtención de curvas de calibrado se mide desde el orden de 10^{-8} g/Nm³.
- Obtenidos los resultados, se pasan a volúmenes equivalentes de contaminante y se trazan las curvas de igual concentración.
- Normalmente durante la captación del trazador se mide en varios puntos simultáneamente la concentración de contaminante. Son muy adecuados los aparatos registradores. Procediendo así se puede establecer la importancia relativa sobre el valor total de la emisión sometida a estudio.

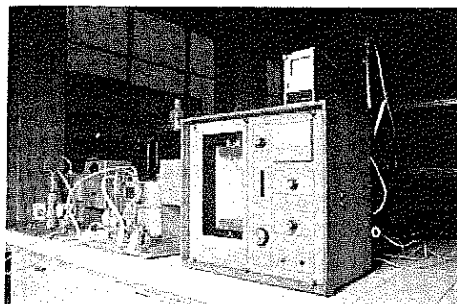
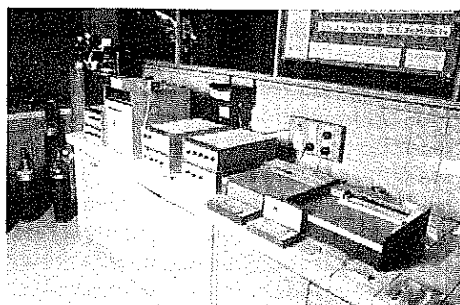
En las figuras vemos el laboratorio móvil empleado provisto de equipo meteorológico y registradores y medidores para determinaciones en inmisión de anhídrido sulfuroso, monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitró-



geno y humo, el equipo de cromatografía utilizado en los análisis y un registrador de anhídrido sulfuroso individual transportable.

La descripción revela que estos trabajos son laboriosos, requieren un equipo numeroso y entrenado. A veces un imprevisto cambio de las condiciones meteorológicas malogra todo el programa concienzudamente preparado.

Quizás conviene insistir en el interés de este procedimiento para determinar la responsabilidad de una actividad productora de contaminación respecto del valor global medido en un lugar que se ve afectado por varios focos diferentes. Cuando las situaciones de contaminación alcanzan niveles importantes resulta imprescindible para corregir el problema tomar medidas tras elaborar un determinado plan de actuación en el que se ha debido tener en cuenta la incidencia o repercusión de cada foco contaminante en condiciones normales y también en condiciones de emisión anormales, averías, etc. En varias ocasiones hemos



encontrado un gran interés por parte de firmas industriales en conocer su responsabilidad individual respecto de la contaminación global detectada en las áreas de su posible influencia; por esta razón creemos que la imprescindible colaboración para estos estudios sería prestada con lealtad en cualquier caso si fuera solicitada.

Como hemos dicho, esta técnica permite confirmar los resultados suministrados por los modelos matemáticos y por los estudios sobre maqueta en medio hidráulico o gaseoso, que, una vez establecidos, permiten con sencillez y rapidez obtener soluciones, introduciendo las variaciones de parámetros que se consideren oportunas.

También se puede considerar esta técnica muy relacionada con los estudios de globos cautivos y radiosondas. En este sentido podemos señalar también su interés en estudios de difusión anteriores al emplazamiento de industrias para tomar decisiones sobre emplazamiento de las mismas o sobre optimización de su proyecto.

DIFUSION Y TRANSPORTE CON FUENTES O SUMIDROS Y CON REACCIONES QUIMICAS

Al establecer la ecuación de partida de la difusión y transporte de contaminantes en el medio atmosférico, hemos considerado el caso más general dando entrada a los términos S y R, que corresponden respectivamente a la posible existencia de fuentes o sumideros y de reacciones químicas entre los contaminantes. Posteriormente, al exponer los trabajos de investigación sucesivamente tratados, hemos dejado sin abordar casos en que se hiciera imprescindible contar con la presencia de tales términos. Nos parece, pues, interesante finalizar este trabajo contemplando algunos de estos casos más representativos. Por otra parte con ello tendremos ocasión de hablar de otras investigaciones relacionadas con el tema que no son de menor importancia.

En primer lugar vamos a referirnos a la contaminación de monóxido de carbono debido principalmente a una cierta densidad de tráfico, situación que se da frecuentemente y que en determinadas zonas urbanas sin importante contaminación de origen industrial, puede representar uno de los principales problemas de contaminación del área. Este caso se plantea en cuanto a la aludida ecuación de partida incluyendo la presencia del término o conjunto de términos S (pues aparecen las emisiones de los motores de los vehículos) y despreciando el término R, por considerar al monóxido de carbono como prácticamente inerte. Entre las cuestiones de interés a resolver dentro de este tipo de problema, podemos mencionar el conocimiento de la situación habitual de contaminación en unas condiciones de tráfico consideradas normales y determinadas condiciones meteorológicas que pueden darse con mayor o menor frecuencia; el conocimiento de situaciones coincidiendo con aglomeraciones de tráfico, embotellamientos, casos especiales como salidas de grandes estadios de deportes; determinación de los emplazamientos más caracterizados para instalar las estaciones de una red de vigilancia y control, y también predicciones tales como las relacionadas con incremento de tráfico por construcción de nueva autopista o descongestión del mismo por introducción de soluciones urbanísticas. Estos tipos de problemas son de indudable actualidad como lo demuestra que alguno de ellos nos ha sido planteado en años pasados, y, como se comprende fácilmente, su resolución permite adoptar decisiones sobre lucha contra la contaminación, saber el riesgo o evolución previsible y poder informar con antelación respecto de situaciones graves que se sabe van a producirse por predicción meteorológica, por concentración de tráfico o por coincidencia de ambas cosas simultáneamente. La solución de la ecuación se aborda por procedimiento numérico, suponiendo un conjunto de volúmenes parciales en las direcciones de los ejes coordenados e introduciendo como funciones del tiempo la altura de la capa de mezcla, la dirección y velocidad del viento y la intensidad de las fuentes de emisión.

Las sustancias presentes en el seno del aire pueden experimentar transformaciones diversas mientras tiene lugar su desplazamiento. Las partículas pueden dar lugar a colisiones, coagulación, choques con superficies, pueden ser eliminadas del aire por las precipitaciones atmosféricas, pueden originarse como productos secundarios a partir de reacciones entre gases, pueden actuar como núcleos de condensación, pueden servir de soporte y catalizador para reacciones químicas entre gases, etc. Entre los gases más importantes en el aspecto de

experimentar reacciones debemos citar el anhídrido sulfuroso, el ácido sulfhídrico, los óxidos de nitrógeno, el amoníaco, los hidrocarburos, el ozono, etc. De las reacciones más interesantes que considerar podemos recordar la oxidación del anhídrido sulfuroso, la oxidación fotoquímica, la oxidación catalítica en presencia de partículas de metales pesados, la reacción en presencia de gotas de agua del amoníaco y del anhídrido sulfuroso, etc. La existencia de algunos de estos fenómenos va acompañada de graves situaciones de contaminación, como sucede en los casos de los llamados smogs, de los cuales los más característicos son el smog ácido de Londres y el de tipo fotoquímico conocido con el sobrenombre "Los Angeles" por ser ésta la ciudad en que se descubrió.

La transformación del anhídrido sulfuroso en ácido sulfúrico en una zona urbana con carácter industrial ha sido objeto de numerosas investigaciones y es, sin duda, un tema atractivo. En Londres, por ejemplo, COMMINS encontró que existe una correlación lineal estrecha entre la concentración en ácido sulfúrico y el producto (acidez fuerte) $\times$ (humos negros), y no debemos olvidar que el plan de actuación, que tanto éxito ha tenido, consistió en reducir principalmente las emisiones de partículas de humo. En Rouen, M. BENARIE constató en 1970 la clara influencia de las partículas de humo, en las que comprobó la presencia de los catalizadores Mn y Fe y otros metales pesados. Es fácil de comprender que a nosotros nos preocupe este tema en estos momentos y que pensemos estar en situación, en breve, de comprobar el porcentaje de azufre que en otoño e invierno se encuentra en forma de ácido sulfúrico en el ambiente y su variación con las condiciones meteorológicas y la proximidad de ciertas emisiones, pues el problema puede ser serio dada la importante proporción de óxidos de hierro y otros catalizadores que, nos consta, existe en esta área.

Las reacciones que pueden tener lugar en los casos de formación de smogs fotoquímicos son las que de una manera especial han sido consideradas a la hora de hacer intervenir el término R en la ecuación de partida para luego proceder a su resolución. Ante la variedad enorme de reacciones que pueden tener lugar en la atmósfera, se hace necesario, para el tratamiento de cálculo, seleccionar un conjunto representativo en cuanto a simulación de mecanismos de reacción y dentro de las actuales limitaciones de capacidad de los ordenadores. En la siguiente figura recogemos el conjunto de reacciones propuesto por ESCHENROEDER y MARTINEZ que ha sido utilizado en la simulación del smog "Los Angeles". Estas reacciones se traducen con sus correspondientes coeficientes en un conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden que se incorporan al programa de cálculo como una adición de subrutinas.

Estas investigaciones sobre reacciones químicas continúan, tratando de mejorar la aproximación de los resultados de la simulación a los valores medidos sobre el terreno correspondientes a diferentes variaciones de parámetros. Entre los trabajos relacionados con este tema merecen mención los estudios sobre transformación en el medio ambiente de los óxidos de nitrógeno y las experiencias en cámaras de irradiación. Los estudios sobre el terreno contribuyen al mejor conocimiento de los mecanismos de las reacciones que suceden en diversas condiciones gracias a las determinaciones detenidamente programadas y llevadas a cabo con medios de medición cada vez más precisos y específicos. Las experiencias en cámaras de irradiación son muy discutidas en cuanto a su validez como simulación de smog fotoquímico pero han contribuido enorme-

Constantes de la Velocidad de Reacción correspondientes al Modelo de Eschenroeder's.

Reacción	Constantes de Velocidad de Reacción.
1. $(h\nu) + NO_2 \rightarrow NO + O$	0.4 mn^{-1}
2. $O(^1O_2)(+M) \rightarrow O_3 + M$	$2.64 \times 10^6 \text{ mn}^{-1}$
3. $O_3 + NO \rightarrow NO_2(+O_2)$	$40 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
4. $O + HC \rightarrow 2RO_2$	$6100 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
5. $OH + HC \rightarrow 2RO_2$	$80 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
6. $RO_2 + NO \rightarrow NO_2 + 0.5 OH$	$1500 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
7. $RO_2 + NO_2 \rightarrow PAN$	$6 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
8. $OH + NO \rightarrow HNO_2$	$10 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
9. $OH + NO_2 \rightarrow HNO_3$	$30 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
10. $O_3 + HC \rightarrow RO_2$	$0.0125 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
11. $(H_2O+)NO + NO_2 \rightarrow 2HNO_2$	$0.01 \text{ ppm}^{-1} \text{ mn}^{-1}$
12. $(h\nu) + HNO_2 \rightarrow NO + OH$	0.001 mn^{-1}

mente al estudio de estos fenómenos. Un interesante ejemplo de discusión sobre resultados alcanzados, lo constituye la aplicación de los datos de isoconcentración de ozono producido por reacción de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en la cámara de simulación desarrollada por the Los Angeles County Air Pollution Control District, respecto de la predicción de la eficacia de los programas de reducción de emisiones procedentes de vehículos automóviles a tenor de las exigencias crecientes fijadas para los próximos años por la legislación de los Estados afectados. Por supuesto que las citadas cámaras presentan también un extraordinario interés para estudiar los efectos sobre la salud y los desgastes de materiales. Uno de los efectos más estudiado ha sido el de las irritaciones oculares que, nos consta por manifestaciones de nuestro inolvidable amigo el Excmo. Sr. Dr. D. Angel Castressana y Guinea, Secretario Perpetuo de la Academia, se han presentado también en algunas situaciones meteorológicas especiales en nuestra área del Gran Bilbao.

CONSIDERACION FINAL

Con lo expuesto, hemos pretendido mostrar dentro de una de las muchas facetas que el tema de la lucha por la conservación del medio ambiente atmosférico presenta, las enormes posibilidades de trabajo de investigación que a los preocupados por el problema se nos ofrecen. Se trata de una actuación en con-

junto que para que sea eficaz requiere una coordinación de esfuerzos dentro de un plan general de actuación al que están llamados a colaborar por su carácter multidisciplinario profesionales de muy distintas procedencias, si bien no podemos olvidar que el aspecto sanitario es fundamental.

Permitidme que en esta ocasión y dentro del marco de los estatutos de las Reales Academias de Distrito sugiera que nuestra Corporación se plantee el interés de:

- Cultivar y estimular el estudio y la investigación sobre la conservación del medio ambiente especialmente en los aspectos más estrechamente relacionados con las ciencias médicas.
- Auxiliar a las autoridades nacionales, provinciales y locales en cuestiones sanitarias relacionadas con los problemas del medio ambiente bien evacuando consultas, bien elevando espontáneamente escritos oportunos relacionados con el tema.
- Emitir informes a particulares sobre asuntos de su competencia y dentro del citado campo.
- Conservar y cultivar una Biblioteca especializada, adquiriendo las obras nacionales y extranjeras y las revistas más importantes dentro de sus posibilidades económicas.
- Informar a cuantos investigadores lo deseen sobre estas cuestiones atendiendo las consultas que se le presenten.
- Dedicar sesiones científicas a tratar de estos temas.
- Incluir dentro de sus posibilidades la concesión de premios y becas para estimular trabajos relacionados con estos temas.
- Recoger cuantos datos y trabajos puedan ser útiles para conocer la importancia de estos problemas en su zona de influencia y procurar su difusión y publicación.

Por mi parte sólo me queda añadir mi mejor disposición para colaborar y mi esperanza de que pese a la gravedad de los problemas actualmente existentes, con la toma de conciencia general y con el esfuerzo y participación de todos, se inicie en breve un plan de lucha serio de varios lustros de duración para conseguir finalmente una evolución favorable de la situación de las áreas afectadas, ya dentro de los valores deseables desde el punto de vista sanitario.

Muchas gracias por vuestra atención.

BIBLIOGRAFIA

- A. C. STERN. Air Pollution, 1968. Academic Press. New York-London.
- B. SANCHEZ, F. MURIAS. El Sanitario ante la contaminación ambiental. Anales de la Real Academia Nacional de Medicina. 1975. Tomo XCII - Cuaderno 2.º.
- F. SANZ SANCHEZ. Sentido y posibilidades de la Toxicología Ambiental. Discurso de Apertura del Curso 1974-1975 de la Universidad Complutense de Madrid.
- J. V. MARTIN ZORRAQUINO. La Contaminación del aire. Urbanismo-Sociología 1. Publicaciones de la Universidad de Deusto. 1972.
- J. V. MARTIN ZORRAQUINO. La Contaminación atmosférica producida por los vehículos. Industria Minera n.º 108. 1970.
- A. ALONSO & CO. Estación meteorológica de la J.E.N. para estudios de difusión atmosférica. Energía Nuclear. Mayo-junio y julio-agosto 1969.
- Allgemeine Verwaltungsvorschriften über genehmigungsbedürftige Anlagen nach 16 der Gewerbeordnung (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft). September 1964.
- J. V. MARTIN ZORRAQUINO. Datos y comentarios sobre la contaminación del aire en Erandio (Bilbao) en 1969. DYNA. Enero 1971.
- J. SYROTA et F. GOURDON. Transport de polluants atmosphériques a des longues distances. Pollution Atmosphérique. Avril-juin 1974.
- R. BOUSCAREN. Procédés de surelevation de panaches de cheminées. CITEPA. Etudes Documentaires CI 766.
- O. G. SUTTON. The problem of diffusion in the lower atmosphere. Quart. Jl. of Meteo. Soc. Tome 73. 1947.
- GIFFORD F. A. Jl. Nucl. Safety 2, 47, 1961.
- P. C. BLOKKER. Dispersion des gaz de fumée sortant des cheminées. Pollution Atmosphérique. Février 1969.
- J. V. MARTIN ZORRAQUINO. La difusión y transporte de los contaminantes del medio ambiente atmosférico producidos en las actividades petrolíferas. II Jornadas Nacionales del Petróleo y Gas Natural. Octubre 1975.
- FIZICESKIE PRINCIPY POSTROENIJA METODIKI RASCETA RASSEIVANIJA V ATMOSFERE VIBROSOV IZ DYMOVIH TRUB ELESTROSTANCIJ. Teploenergetika n.º 7. 1964. U.R.S.S.
- W. L. LEE & A. C. STERN. The stack height requirements implicit in the Federal Standards of performance for new stationary sources. Journal of the Air Pollution Control Association. June 1973.
- J. P. DETRIE. Réglementation actuelle de l'émission des fumées en France. XIèmes Journées Internationales de L'I.F.C.E. 1975.
- R. BOUSCAREN. Comparaison des méthodes de calcul des hauteurs des cheminées. CITEPA. Etudes Documentaires CI 740.

- M. J. BRUN. Hauteur des cheminées proposée pour satisfaire aux normes fédérales américaines sur les nouvelles sources fixes. CITEPA. Etudes Documentaires CI 787.
- L. VADOT. Simulation hydraulique appliqués aux panaches de cheminée. XIèmes Journées Internationales de L'I.F.C.E. 1975.
- L. ROMANI. Simulación aerodinámica des panaches de cheminée en soufflerie. XIèmes Journées Internationales de L'I.F.C.E. 1975.
- W. B. JOHNSON, F. L. LUDWIG, W. F. DABBERDT & R. J. ALLEN. An urban diffusion simulation model for carbon monoxide. Journal of the Air Pollution Control Association. June 1973.
- R. J. LEIBRECHT & H. C. PERKINS. An urban airshed model for predicting carbon monoxide concentrations in Tucson, Arizona. 68th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association. Boston, Massachusetts. June 1975.
- M. BENARIE, T. MENARD et A. NONAT. Etude de la transformation de l'anhydride sulfurique en acide sulfurique en relation avec les données climatologiques, dans un ensemble urbain à caractère industriel, Rouen. Atmospheric Environment Pergamon Press 1973. Vol. 7, pp 403-421.
- R. C. SKLAREW, A. J. FABRICK, and J. E. PRAGER. Mathematical Modelling of Photochemical smog using the Pick Method. Journal of Air Pollution Control Association, 22, 11, 1972.
- D. R. SOUTEN, C. J. HOPPER and R. L. MUELLER. A critical review of the Los Angeles County APCD Method for simulating atmospheric oxidant based on smog chamber irradiation experiments. 68th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association (7). Boston, Massachusetts. June 1975.

DISCURSO CONTESTACION

del

EXCMO. SR. PROF. DR. D. JUAN MANUEL DE GANDARIAS Y BAJON

Presidente de la Real Academia de Medicina de Distrito de Bilbao

Siempre resulta grato presentar a un nuevo académico y más tratándose de una Corporación como la nuestra con pocos años de existencia, pero que ha fructificado con la incorporación de muchos miembros hasta la fecha actual. Y sobre todo esto se ha permitido, ya, invitar a que entre en su seno una personalidad que no es del mundo de la medicina, pero que ha desarrollado una meritoria y acreditada labor en pro de la sanidad. Se trata, como han podido apreciar por su sólido discurso, del Dr. Juan Vicente Martín Zorraquino, Catedrático de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, que ha cultivado la investigación en materia de contaminación ambiental y que ha publicado, a este respecto, bastantes trabajos y comunicaciones a congresos científicos. Por todo ello, me siento honrado al tener la oportunidad de homenajearle contestando a su disertación.

Conocí al Dr. Martín Zorraquino hace unos años, desde mi destino en esta Universidad. Su profesorado en Bilbao data de hace unos diez años, cuando ganó por oposición la cátedra de Termodinámica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, el 6 de agosto de 1966.

De otra parte, ha desempeñado el puesto de Jefe de Talleres y Laboratorios de esta Escuela, desde el 12 de noviembre de 1969. Su trabajo en la cátedra se incluye en la categoría llamada de dedicación plena, desde el 1 de enero de 1970.

Habiendo cursado sus estudios de ingeniería en nuestra villa, terminó esta carrera en 1958 y se doctoró en 1964.

Su afición a la docencia y a la investigación experimental le alcanzan por genealogía, ya que es hijo de un catedrático de la Facultad de Ciencias de Zaragoza, de mucho prestigio.

En la Escuela de Ingenieros ha desempeñado diversos puestos a niveles crecientes con el correr del tiempo, desde su terminación de carrera: Profesor Adjunto de Motores Térmicos, desde 1959 a 1963. Profesor Encargado de Curso de Motores Térmicos desde 1962 a 1963. Profesor Encargado de Curso de Mecánica Fundamental desde 1960 a 1963. Profesor Encargado de Termodinámica, desde 1963 a 1966, fecha en que gana por oposición dicha cátedra.

Desde 1969 imparte la asignatura de Ingeniería del Medio Ambiente, para el primer año del Doctorado en la Escuela de Ingenieros.

Como se aprecia tras esta última connotación, el Dr. Martín Zorraquino es un vocacional de la investigación en materia de polución y contaminación ambiental. Como señalábamos poco antes, el Dr. Martín Zorraquino ha publicado muchos trabajos sobre contaminación. El último de ellos lleva por título: "La difusión y transporte de contaminantes del medio ambiente atmosférico producidos por las actividades petrolíferas", en las II Jornadas Nacionales del Petróleo y el Gas Natural", en octubre de 1975.

El Dr. Martín Zorraquino fue nombrado Jefe del Departamento de Mecánica, Hidráulica y Máquinas de los Laboratorios de Ensayos e Investigación Industrial y es Director de los mismos desde 1971, habiendo realizado más de 250 trabajos sobre contaminación del aire.

Al plantearse oficialmente el asunto de la polución en Vizcaya, la Universidad de Bilbao decidió que fuera el Dr. Martín Zorraquino el representante nuestro en la Comisión que, a tal fin, ha de funcionar en el área del Gran Bilbao.

Y a este respecto, los contactos que he tenido que establecer con él me han convencido de su entusiasmo, seriedad y rigor en todo lo que aborda, esperando mucho de su aportación al grave problema que en materia de polución afecta a Vizcaya.

Por todas estas consideraciones, nuestra Real Academia decidió convocar una plaza de Académico para profesionales no médicos. Al presentarse la candidatura del Dr. Martín Zorraquino, nuestra Corporación le eligió por unanimidad, habida cuenta del extraordinario fichaje que suponía su incorporación. No olvidemos que la Real Academia es una institución que no puede volverse de espaldas a los problemas sanitarios. Podemos felicitarnos, pues, de que nos representará dignamente y que colaborará con otros académicos en materia sanitaria y orientará programas de lucha y de investigación al respecto.

En cuanto a las condiciones humanas del Profesor Martín Zorraquino, no podríamos sino aportar datos que retratan una personalidad recia, de hombre de bien y digno de toda confianza. Por ello, yo proclamo ahora: "Bienvenido a nuestra Corporación, Dr. Martín Zorraquino".

Respecto al tema del recipiendario anotamos que, en nuestra doble condición de Médico y Profesor de Fisiología, abordar el asunto de la contaminación del medio ambiente, en los tres espacios de la biosfera —aire, tierra, aguas— constituye una obligación inexcusable e inaplazable. Efectivamente, el problema nos motiva tanto por la gravedad que comporta en el presente y futuro sanitarios como en nuestra calidad de docente de una materia que ha gestado, a su vez, una rama denominada "Fisiología Ambiental" ("Environmental Physiology"), que se ocupa del estudio de los mamíferos sanos en relación con su medio geofísico; esto es, tiene en cuenta el "habitat", con lo que se adentra plenamente en la "ecología", término acuñado por Haeckel, el gran biólogo germano del siglo pasado. La relación individuo-medio ambiente ha sido señalada asimismo con otras denominaciones como las de "biometeorología cuantitativa", "autecología" y "ecología fisiológica". Suenan mucho también, hoy en día, los términos de "Higiene Industrial" e "Higiene Ambiental" que denotan, como los de "climatología médica" y "biometeorología humana", una preocupación específica por parte de sanitarios e investigadores hacia las condiciones del entorno que ha de soportar el hombre en el curso de sus actividades. Desde ahora tendremos que subrayar que el mundo que ocupa el hombre es finito, así como su capacidad para sostener a nuestras especies sin deterioro de su biosfera.

Para simplificar toda esta lexicografía y sinonimias nos va a convenir que utilicemos la denominación de sistemas ecológicos. Y para mayor sencillez, aún, engranar sintéticamente ambos vocablos en otro abreviado, el de "ecosistemas".

El recipiendario ha tratado el asunto de la polución de una manera extraordinaria y con gran profundidad. Nosotros aludiremos ahora a las diversas causas que la motivan en un intento simplificado y sin relatar lo que sería una lista interminable. A este respecto dictamos las siguientes:

1) Por invasión de productos no naturales: contaminación por vehículos automóviles, de transporte en general, navegación marítima o fluvial en los puertos de gran tráfico —aunque la utilización de hidrocarburos como medio energético que ha sustituido al carbón ha mejorado la situación— despegue y aterrizaje de aviones; contaminación por la combustión de calderas de calefacción y de hogares domésticos en general; incineración de basuras, tratamiento de estos detritus; emisiones contaminantes de diversas industrias (metalúrgicas, de cementos, químicas, de gas, refinerías, abonos, de pasta de papel, pesticidas, etc., etc.). ¡Y no hablemos de la contaminación por energía nuclear!

2) Por acúmulo excesivo de productos naturales: brumas o nieblas; polvo formado en la descomposición del suelo, polvo de origen volcánico, polinización ambiental, hongos, ambientes confinados en que se concentran grandes núcleos de población temporal o permanente, etc., etc.

Y a todas éstas habría que añadir una plaga más de nuestros días: la polución sónica, o incidencia ambiental de ruidos por inúmeras causas, desde los producidos por aparatos electrodomésticos a los provenientes de vehículos terrestres (camiones, motocicletas, coches deportivos), de aviones privados, helicópteros, reactores militares y comerciales, perforadoras-trepanadoras, etc. y... lo que no deberemos descartar, la música, que yo llamo de "avispero", de nuestros días. Está en la mente de cualquier persona, con cierta sensibilidad y sentido del orden y de la estética, que estos ruidos, y no en menor proporción

el último, producen una irritación del sistema nervioso que conduce a secuelas neuróticas importantes y llega a determinar respuestas de componente psicótico.

Lo más importante a considerar es que una gran parte de la polución, hasta cierto punto irremediable, deriva del gran consumo de energía que exige mantener a una población mundial en trance de irrefrenable y veloz crecimiento. Todo ello obliga a multiplicar la producción de alimentos, con lo que las prácticas agrícolas demandan medidas extraordinarias que repercuten en una ruptura de los ecosistemas. A esto hay que añadir el aumento en la producción de bienes de consumo de todo tipo. Pero lo más acuciante para hacer tablas con las exigencias de esta expansión es que, de un modo u otro, hay un mayor consumo de energía, recurriendo el hombre, a este respecto, a la extracción de los recursos minerales del subsuelo (petróleo, gas, carbón), que habían permanecido intocados durante más de 500 millones de años. La combustión y oxidación de estos productos determina la "suelta" de inmensas proporciones de CO_2 , con la consiguiente alza térmica del ambiente (efecto "greenhouse"), que acaba por fusionar grandes masas de hielos de los casquetes polares, con el subsiguiente aumento del nivel del mar y la cadena de secuencias ulteriores, que causan horror al imaginarlas.

De otro lado, los pesticidas empleados en la agricultura, que son indispensables, terminan por ser acarreados hasta las aguas de los ríos, desaguando al final en los mares, en donde ejercen efectos deletéreos sobre el plancton, la mayor fuente de biosíntesis del mundo y en la que, desde hace tiempo, los científicos habían concebido esperanzas de incrementar sus rendimientos con el mejor afán de convertirlo en la gran despensa de la humanidad. Pero, según los riesgos que acabo de mencionar, parece que vamos a empequeñecer esta reserva y, hasta vamos a matarla definitivamente. ¡Qué ironía! Sin embargo, tengamos confianza. El hombre ha redimido muchas pesadumbres y lacras: mejora imparable de la justicia social, hallazgo de medios para erradicar enfermedades infecciosas, combatiéndolas con todo éxito cuando aparecen, etc. Naturalmente que se llegará a encarar este problema de la contaminación y a vencerlo o a controlarlo.

Habría que dar la voz de alarma sin más dilación por la magnitud del problema sanitario-económico-social que entraña la polución: aumento de la mortalidad en personas de cierta edad, en los efectos de procesos circulatorios y respiratorios, y producción de algunas entidades nosológicas de este tipo como asma y bronquitis.

Debemos incluir, además, las derivaciones económicas que surgen del absentismo laboral de los productores víctimas de la polución, circunstancia que desencadena otras complicaciones: repercusiones familiares cuando es la madre quien resulta afectada; de escolaridad, para los niños implicados, etc., etc. Diríamos, pues, que los perjuicios alcanzan, al fin, a la sociedad en general.

Por tanto, la primera enseñanza que surge nos alecciona sobre la correlación inevitable entre polución y repercusiones graves contra la población en los aspectos sanitario, familiar y social, antes mencionados.

Como refrendo de estas aseveraciones, transcribimos algunos recordatorios históricos: desastre en el valle del Mosa (Bélgica), durante casi una semana en diciembre de 1930, cuando el aire viciado procedente de diversas industrias (ace-

rías, vidrierías, hornos de cok, fundiciones, fábricas de ácido sulfúrico, etc.) incidió sobre la atmósfera comarcal citada, provocando una inversión térmica con la consiguiente mortalidad explosiva de personas y ganado. Otro episodio catastrófico análogo, de contaminación e inversión térmica, se acusó en 1948, por 4-5 días en Donora, Pensilvania; en estas fechas, casi la mitad de esa población llegó a enfermar con afecciones respiratorias, muriendo por esta causa 26 personas; el aire, cargado con partículas de dióxido de azufre, alcanzó una concentración de hasta 2 ppm. De pronto, a los 4 días se acusó un descenso vertical de la morbilidad en la mencionada cuenca americana, seguramente porque las partículas contaminantes alcanzaron mayor calibre, no pudiendo, por esto, rebasar tan fácilmente las barreras respiratorias y penetrar en los pulmones. Un tercer episodio, muy comentado en todo el mundo, fue el de los estragos causados entre la población londinense a causa de la polución otoñal de 1952. La asociación en aquel entonces de altas concentraciones de humo de carbón más la niebla reinante originaron un ambiente malsano al que los ingleses bautizaron con el término "smog" (por combinación de las palabras "soft coal smoke" y "fog"), resultando una catástrofe para la capital británica, muriendo en el curso de una semana 4.000 personas de más, lo que se atribuyó con buen fundamento a la correlación entre incremento en la proporción de afecciones respiratorias o cardiorrespiratorias y polución atmosférica. Aquella racha catastrófica impulsó a las autoridades a tomar medidas drásticas, dictándose la llamada "Clean Air Act" o "ley de aire limpio", resultando que Londres es hoy un ejemplo a imitar para todos los ambientalistas.

Y para qué vamos a entrar en detalles de la polución causada por las explosiones nucleares. Solamente es que aludimos a ellas porque fueron las que primero mostraron cómo la polución atmosférica se expande hacia todo el mundo, al cabo de unos días y persiste durante largo tiempo, contaminando, al final, al suelo y las aguas; esto es, a los tres espacios de la biosfera.

En el mundo hay una preocupación creciente por la polución y se vienen creando organismos encargados de la lucha contra esta insanidad. Es obvio que algunos países se han prestado a combatir la contaminación con realismo y eficacia. Recordando lo indicado sobre la "ley del aire limpio" de Londres, puesta en vigor a partir de 1956, se consiguió crear una atmósfera soleada y saneada para esta gran ciudad, en donde la visibilidad es increíblemente superior a la de hace 20 años. Se ha obligado a utilizar solamente carbón desgaseificado y electricidad, a efectos de fuentes energéticas.

En nuestras poblaciones y, en general, en nuestros medios sólo ha surgido hasta el momento un arma de alguna utilidad, la denuncia valiente por parte de algunos órganos de información. Lo conveniente es mentalizar a las gentes mediante campañas aleccionadoras, recurriendo a programas televisivos, documentales cinematográficos, series radiofónicas, carteles, etc., que denuncien los riesgos que nos amenazan y que expongan a la vez, las medidas que para evitar una hecatombe se vienen aplicando en otras naciones, para que nos sirvan de medida comparativa a nosotros y a las autoridades a quienes más de cerca concierne esta problemática. Difusión de los peligros de la contaminación han aparecido en algunos diarios y revistas que han dedicado bastantes páginas monográficas a este asunto, pero ni con el mejor afán estimulante de estas publicaciones se ha conseguido abordar el problema en sus vertientes pragmático-prácticas. Habría que añadir sobre todo esto algo como lo que nosotros proponemos,

diciedo que: "es mucho cuanto se viene aireando y hasta alardeando sobre el aumento de la "renta per cápita", que traduce un nivel elevado en el bienestar económico-social de una provincia, región o país, frente a la situación rezagada que en este orden de la economía muestran otras áreas de población más relacionadas o más distantes; pero, no es menos cierto que estas sociedades privilegiadas, con un consumismo descaradamente ostentoso, incrementan paralelamente su producción de desperdicios, de materiales residuales, a los que podríamos tildar de "catabolitos" de la civilización.

En consecunecia deberá fomentarse la investigación en dos aspectos parejos, yo diría que, inseparables: uno, el de la pesquisa del peligro en los diversos ámbitos de la biosfera, con un perfeccionamiento gradual de los medios de investigación, que permitan detectar con cierta sencillez concentraciones mínimas de productos tóxicos; otro, el del estudio de una metodología preventiva o correctora de la contaminación.

Naturalmente, habrá que auspiciar oficialmente estas legítimas aspiraciones y, por supuesto, habrá que derribar paso a paso los casi invulnerables escollos que se oponen a la puesta en práctica de medidas sanitarias tendentes a eliminar, o cuando menos a rebajar, el grado de peligrosidad que dimana de la enorme y ciega actividad industrial de nuestros días. En todo caso, este es un asunto que escapa a nuestro poder operativo y de cuya responsabilidad hay organismos con los que no estamos directamente vinculados. Agarrarse a brazo partido con las resistencias e intereses económicos y de todo orden, que impiden acometer esta problemática, equivale a encararse directamente con la verdadera cuestión. Y no quiero dejar de señalar que nos consta la buena fe de diversos organismos oficiales e incluso de empresas industriales. Pero estos buenos propósitos fracasan, porque no se ha montado una coordinación suficientemente bien planteada y con la energía que demanda el reto que afronta a nuestra propia seguridad biológica presente y futura.

Entre todas estas sanas intenciones no debe faltar la de fomentar núcleos modelo de población. Me refiero a que ante cualquier iniciativa edificadora prive un criterio de porfía opuesto al actualmente vigente; me explico, ahora sólo cuentan la especulación del suelo y la obtención de máximos rendimientos económicos, a base de condenarnos a nosotros mismos a ocupar espacios mínimos, habitáculos sin perspectivas, con mala ventilación a la utilización de cocinas-cuchitriles que constituyen la pesadilla de las buenas amas de casa o de otros huecos que reflejan el sentido antihumanitario de los que conciben este tipo de proyectos. Pues bien, lo que se propone desde aquí es que los organismos competentes impongan unas normas que garanticen amplios espacios vitales, habitaciones saneadas, zonas verdes y otras condiciones beneficiosas como el empleo de energía no contaminante, a las que el hombre tiene derecho y por las que nadie sale perjudicado realmente, ni siquiera las empresas constructoras. Con estas medidas mejoraría no solamente el habitat geofísico sino también el entorno psíquico por el agrado y suavización ambiental resultantes.

En nuestro país se ha dictado una reglamentación en abril del pasado año, a propósito de la "ley de protección del medio ambiente atmosférico" aparecida a finales de 1972. Y sobre todo, las autoridades sanitarias están preocupadas por estos problemas. Buena prueba de ello nos la ofrece la Jefatura Provincial de Sanidad de Vizcaya, cuyo Jefe ha realizado un estudio interesante sobre la polución en esta demarcación y que ha cristalizado en la presentación de un

excelente trabajo de Tesis doctoral en nuestra Facultad de Medicina. Este escrito, repleto de documentación, nos ha servido en una gran medida para obtener o contrastar referencias puntuales sobre diversos aspectos sanitarios y legislativos referentes a la contaminación ambiental.

También nos ha estimulado la noticia de un Symposium sobre contaminación del Mediterráneo que se ha celebrado en la primera semana de febrero en la ciudad condal y a cuya reunión han concurrido científicos de muchos países de esta cuenca y de otras latitudes.

Hay quien ha denunciado el estado actual del mundo occidental y del progreso en general como el resultado de una arrogancia judeo-cristiana frente a la naturaleza, a causa de nuestra tecnología superior que nos ha hecho "casi" creer que en el futuro seremos capaces de fabricar suficiente alimento, agua limpia y aire puro. Tras esta meditación filosófica, nada ecuménica, yo sigo creyendo en el futuro de la humanidad y que, según se ha venido aplicando el hombre a la lucha contra las enfermedades, obteniendo éxitos indudables y que están en el ánimo de todos, se logrará controlar la peligrosidad de la contaminación en el futuro y jamás llegará la tan temida ecocatástrofe.

He dicho.