

LA POLUCIÓN DEL AIRE: UN RETO DE NUESTRO TIEMPO.

Introducción

En el Diccionario de la Lengua Española, se define la polución como la contaminación intensa y dañina del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos, y figuradamente, en sentido moral, corrupción, profanación. Esta última, es muy adecuada para indicar el daño moral que podemos transmitir a las futuras generaciones. Estamos corrompiendo y profanando la Naturaleza, y como ya han indicado numerosos científicos, se puede volver contra nosotros y poner en peligro la propia presencia humana en nuestro planeta.

Una definición científica, es la dada por Bishop, que establece la contaminación del aire como: "La presencia en la atmósfera de uno o más elementos, en cantidad suficiente, de características o permanencia tales que causen efectos indeseables en el ser humano, las plantas, la vida animal o las construcciones y monumentos, o que interfieran con el esparcimiento del ser humano. Estos elementos pueden ser polvo, emanaciones, olores, humos o vapor".

La polución del aire, ha sido un problema de salud pública, desde hace siglos. Séneca, hablaba ya del aire cargado de Roma, en el año 61 A.C., y existían leyes

romanas, que limitaban la carga y descarga de los carros de mercancías, por cuestiones medioambientales. En la sociedad moderna, la polución del aire, es el mayor problema de contaminación que afecta a la salud, produciendo una contaminación global a escala planetaria. Los gases y partículas nocivas emitidas a la atmósfera, afectan a todo el planeta, dañando el medio ambiente y destruyendo los recursos necesarios para su desarrollo sostenido. En palabras del Premio Nóbel de la Paz Mijail Gorbachov: “El hombre no es el rey de la naturaleza y si no se tiene en cuenta el medio ambiente, el ser humano está condenado a su propia desaparición mucho antes de lo que se imagina”.

El origen de los problemas de contaminación actuales, se remonta al siglo XVIII y al nacimiento de la I Revolución Industrial. La quema de combustibles fósiles, por las fábricas, fue entonces, el principal problema. La aparición del automóvil, empeoró estas contingencias medioambientales, y condujo a otros nuevos riesgos.

Actualmente, es en las grandes aglomeraciones urbanas, en donde la incidencia de la polución del aire es mayor, siendo esta capaz de ser trasladada por los movimientos de circulación atmosférica a otros puntos y, contribuir al aumento de la contaminación general de la atmósfera. Por tanto, aunque la preocupación es mayor en las grandes ciudades, debemos tener en cuenta la globalización de este problema.

El transporte y dispersión de contaminantes del aire ambiental, están influenciados por complejos factores, como las variaciones del clima y las condiciones topográficas. A escala mundial, las variaciones del clima influyen sobre el movimiento de los contaminantes. En el ámbito local, los principales factores del transporte y dispersión de contaminantes, son el viento y la estabilidad atmosférica.

La dispersión de contaminantes de una fuente de emisión, depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. La turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera. El movimiento horizontal, es lo que comúnmente se llama viento. La velocidad del viento, puede afectar en gran medida a la concentración de contaminantes en una determinada región. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes. El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante.

La radiación solar contribuye a la formación de ozono y contaminantes secundarios en el aire. La humedad y la precipitación, pueden favorecer la aparición de estos, tales como las sustancias responsables de la lluvia ácida; aunque por otro lado, la precipitación también puede tener un efecto beneficioso, porque lava las partículas contaminantes del aire, y ayuda a disminuir las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales.

Sin embargo, estos factores, resultan muy difíciles de evaluar en ocasiones. Así, en la Comunidad Autónoma de Madrid, los flujos atmosféricos son muy complejos y, por tanto, también lo son los fenómenos de transporte y difusión de los contaminantes emitidos en ella. Se han detectado recirculaciones de aire, que complicarían aún más la caracterización de las zonas afectadas por la contaminación, no solo de tipo local, en el entorno inmediato de los grandes focos de emisión de contaminantes, sino de la contaminación de tipo regional, como la contaminación fotoquímica que podría afectar a zonas muy alejadas de los focos de emisión de los precursores.

Fuentes de polución de los contaminantes del aire

Las fuentes de contaminación de los contaminantes del aire, pueden ser naturales o antropogénicas. Las fuentes naturales, son debidas principalmente a cuatro procesos: acción volcánica, incendios forestales, emisión de partículas radiactivas y transporte de polvo.

Las fuentes antropogénicas, son la principal fuente de producción de partículas finas contaminantes, y se originan en las combustiones, tanto de materiales de origen biológico (madera, carbones, aceites), como en la de vehículos a motor, la actividad industrial o la generación de energía eléctrica. Estas fuentes, resultantes de la actividad humana, son el principal foco de contaminación atmosférica, y se pueden dividir en tres grupos: **Fijas, móviles y de inmisión**. Las fuentes fijas, se generan en áreas rurales, mediante la producción agrícola y la minería; en áreas industriales, debido principalmente a las manufacturas químicas y la industria metalúrgica, y en áreas urbanas, por el uso de la calefacción, desperdicios urbanos e incineradoras, chimeneas, cocinas y limpieza urbana. Las móviles, son debidas al tráfico rodado, aviones y barcos; mientras que la inmisión, se produce por el consumo de tabaco, las combustiones y la formación de compuestos orgánicos volátiles.

Las fuentes naturales, producen fundamentalmente dióxido de azufre y también ozono, que proviene de la estratosfera. Las fuentes antropogénicas, son más variadas y dependen del tipo de contaminación. La combustión de material biológico, origina dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles, denominados COV ó VOC (en lengua inglesa). Los vehículos a motor, la actividad industrial y la generación de energía eléctrica, generan monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido y dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y otros compuestos orgánicos, que por condensación dan lugar a partículas finas de tamaño $<1\mu$. A su vez, los óxidos de nitrógeno por reacciones secundarias, dan lugar a la formación de ozono y radicales peróxidos muy tóxicos. El dióxido de azufre, se oxida a trióxido de

azufre, el cual en contacto con la humedad atmosférica produce ácido sulfúrico, que puede reaccionar con amoníaco y formar aerosoles, que se agregan a las partículas de los compuestos orgánicos condensados, produciendo a su vez partículas muy finas de tamaño entre 0,2 y 2 μ , muy perjudiciales para la salud, ya que penetran a través de los alvéolos pulmonares. Se puede cifrar, que como consecuencia de la exposición directa a altas concentraciones de inmisión de estas partículas, se producen 2.500.000 muertes anuales, mientras que la incidencia de las concentraciones de dióxido de azufre, en combinación con las partículas en el aire, es de 450.000 muertes anuales.

Los datos de emisiones de fuentes, se usan para determinar el cumplimiento de los reglamentos de contaminación del aire y la eficacia de su control, la eficiencia de los medios producción y para apoyar la investigación científica.

Tipos de contaminantes del aire

El aire, está formado por nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono, neón, otros gases inertes y de una pequeña cantidad de hidrógeno. Otros gases, presentes en el aire, principalmente ozono, dióxido de azufre, óxido nitroso, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles, como el benceno y butadieno, junto con aerosoles y partículas en suspensión, son potencialmente tóxicos ó cancerígenos.

Estos contaminantes, pueden ser considerados contaminantes primarios, si son vertidos directamente a la atmósfera, o contaminantes secundarios, si se producen en reacciones entre compuestos químicos presentes en la atmósfera, incluidas reacciones fotoquímicas, como sucede en la formación del ozono.

Podemos clasificarlos en dos grupos. Un primer grupo, es el de las partículas suspendidas, que provocan problemas respiratorios y pueden causar cáncer, además de la destrucción de plantas y la corrosión de materiales, acumulación de suciedad y de interferir con la luz del sol, formando nubes contaminantes.

Un segundo grupo, estaría en forma de gas contaminante, conformado por derivados de azufre (dióxido de azufre y trióxido de azufre), monóxido de carbono, compuestos de nitrógeno (óxido nítrico, dióxido de nitrógeno y amoníaco), hidrocarburos (HC), compuestos volátiles (COVs), policíclicos aromáticos (HPA) y aldehídos; hidrácidos, como el ácido clorhídrico y el ácido fluorhídrico y sustancias malolientes, como el H₂S, CS₂ y mercaptanos.

Si en la década de los setenta, el problema ambiental radicaba en los óxidos de azufre y humo negro, producidos en invierno por la quema de carbones en las calefacciones de los edificios, veinte años más tarde, la contaminación se relaciona con las altas emisiones de contaminantes provenientes del tráfico, como son las partículas, los óxidos de nitrógeno y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs). A éstos hay que añadir el ozono, cuya aparición en verano en altas concentraciones, ha creado la consiguiente alarma entre la población.

Estos contaminantes, son objeto de control en sus niveles atmosféricos. Actualmente, los principales contaminantes del aire a considerar, con vistas a su control, y denominados “contaminante criterio”, son los siguientes:

Partículas

Dependiendo de su tamaño, las partículas pueden flotar o sedimentar. Las partículas que se mantienen flotando, se conocen como partículas suspendidas totales o PST.

Las partículas cuyo diámetro es menor o igual a $10\ \mu$, se conocen como partículas de fracción respirable o PM₁₀, las cuales pueden estar formadas por aerosoles, polvos, metales, productos de combustión, o bien microorganismos como protozoos, bacterias, virus, hongos y polen. Cuando las partículas son inhaladas, no siempre son expulsadas por los sistemas de defensa del organismo, causando problemas en el sistema respiratorio.

Las partículas PM_{2,5} son aún menores, ya que tienen un diámetro menor o igual a $2,5\ \mu$. Un 40% de ellas son retenidas en los bronquios y en los alvéolos. La fracción PM_{2,5} sin embargo, no es emitida directamente a la atmósfera, sino que se forma en ésta como producto de reacciones fotoquímicas y procesos físicos. Dichas partículas se están investigando, para determinar su concentración y caracterización fisicoquímica en la atmósfera, ya que actualmente se discute su incorporación en las normativas como "contaminante criterio".

Las partículas mayores pueden ser eliminadas por los sistemas naturales de defensa, pero eso no es razón para no considerarlas como contaminantes, ya que por sus características son el indicador más evidente de un ambiente contaminado.

Las partículas mayores o más gruesas, están formadas por sólidos y gotitas y pueden estar compuestas de polvo de carbón, ceniza, óxidos metálicos de Al, Ti y de Fe, óxidos de Si, carbonato cálcico, cloruro sódico, polen, esporas, fragmentos de plantas y animales y, basuras. Sus fuentes son: polvos producidos en la manipulación del carbón industrial, en las carreteras no asfaltadas, el originado en el tráfico de las

carreteras, principalmente por camiones y el de las minas. Fuentes biológicas. Construcción y demoliciones. Combustiones de aceite y carbón, y los aerosoles de los sprays solares. Son muy insolubles y no higroscópicas. Su tiempo de vida es corto, de minutos a horas, y su dispersión en el aire es también corta, comparada con la de las partículas finas, y varía de metros a decenas de Kilómetros.

Las partículas más pequeñas o finas, están formadas por gases, que contienen sulfatos, nitratos, ión amonio, hidrogeniones, carbono, compuestos orgánicos, metales (Pb, Cd, Zn, Mn, Fe) y partículas ligadas al agua. Sus principales fuentes son: Combustiones de carbones, aceites y gasolinas, transformación atmosférica de NO₂, SO₂ y compuestos orgánicos, incluyendo especies biogénicas, y procesos a altas temperaturas (fundiciones). Son muy solubles, higroscópicas y delicuescentes. Su tiempo de vida es largo, de días a semanas y pueden ser transportadas a grandes distancias, de cientos a miles de Km.

La contaminación por partículas puede causar, a corto y a largo plazo, disminución de la función pulmonar, lo que contribuye a la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y a la muerte prematura. Se estima que el riesgo de morir tempranamente, aumenta en un 2-8% por cada incremento de 50 mg de PM10.

En México, la Secretaría de Salud ha observado un exceso de mortalidad asociada a niveles elevados de contaminación por partículas PSTs, en especial en la población mayor de 65 años. Estudios realizados en el Distrito Federal, demuestran que las partículas PM10 se asocian con una mayor presencia de síntomas respiratorios, así como con el desarrollo de crisis asmáticas (Comisión Ambiental Metropolitana, 1996).

Algunas de las acciones que dan origen a la contaminación por partículas son: la destrucción de la vegetación, que a su vez causa la erosión del suelo; los incendios, frecuentes en las épocas de sequía; algunos procesos industriales que generan gran cantidad de polvos, y actividades humanas que requieren la quema de combustibles como carbón, leña y derivados del petróleo. La inadecuada disposición de la basura y las deposiciones al aire libre, también son emisores importantes de microorganismos, quistes, esporas, polen, etc., que pueden quedar adheridos al polvo. Tomando en cuenta lo anterior, es necesario atacar estos problemas directamente, para disminuir la contaminación de partículas suspendidas.

Plomo

Las fuentes naturales de contaminación del plomo son muy importantes, como por ejemplo en la erosión del suelo o las emanaciones volcánicas, pero también los son las fuentes antropogénicas, durante su extracción, fundición, refinado, el procesamiento de minerales no ferrosos y la combustión de combustibles fósiles, siendo esta última la principal fuente de emisiones, ya que, el aumento de la concentración de plomo en la atmósfera urbana, se debe principalmente a la introducción de compuestos orgánicos de plomo, usados como aditivos antidetonantes para gasolina.

El plomo que se origina a partir de los combustibles de automóviles, está presente en las partículas con diámetro igual o menor a 1μ . Estas partículas pueden alcanzar fácilmente la región interna del pulmón, por lo que el plomo pasa al torrente sanguíneo. Una vez en la sangre, se distribuye en todos los tejidos y órganos del cuerpo, llegándose a almacenar en los huesos, hígado, corteza y médula renal. Los principales sistemas del organismo humano, que se ven afectados por la intoxicación

por plomo son: el hematopoyético, el renal, el nervioso central y el sistema nervioso periférico.

El plomo atmosférico tiene una gran importancia para la salud, ya que entra en las cadenas tróficas inhalado por los seres vivos y, al igual que otros contaminantes, se dispersa por la acción del viento depositándose en el suelo, en el agua y en la vegetación, a grandes distancias de su foco de emisión.

Hidrocarburos

Muchos componentes de la gasolina y otros derivados del petróleo son hidrocarburos, los cuales, por procesos fotoquímicos, reaccionan con los óxidos de nitrógeno para formar nitrato de peroxiacetilo (PAN) y ozono, entre otros compuestos.

Algunos tipos de hidrocarburos son tóxicos, otros no y muchos de ellos no representan un problema para la salud, pero debido a que contribuyen a la formación de ozono, se consideran como contaminantes importantes.

Los hidrocarburos aromáticos son agentes cancerígenos potenciales. Existen estudios, que indican que algunos de estos hidrocarburos se forman durante la combustión incompleta de casi cualquier material orgánico, incluyendo grasas, carnes, café, azúcar, y el humo de cigarrillos.

Las fuentes antropogénicas de hidrocarburos son variables, siendo el transporte la principal. También hay que considerar diversas actuaciones, como las prácticas agrícolas y los basureros, que también contribuyen a la generación de estos contaminantes.

El transporte, como hemos indicado, se considera la mayor fuente de emisión de hidrocarburos a la atmósfera, debido a la combustión incompleta en los motores de los vehículos. Asimismo, las emisiones de evaporación en las maniobras de carga y descarga de combustible en gasolineras o en los grandes contenedores de almacenamiento, contribuyen también a la emisión de hidrocarburos a la atmósfera.

Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono es un gas, que a bajas concentraciones, no produce ningún daño, pero si son elevadas, puede afectar seriamente el metabolismo respiratorio dada la alta afinidad de la hemoglobina por éste compuesto.

Las emisiones de CO en un área cerrada pueden causar la muerte por insuficiencia cardíaca, ya que la absorción de CO aumenta con la concentración en el ambiente, y con los incrementos en el tiempo de exposición y en la actividad física. La exposición a bajos niveles de CO, también puede causar daño a la salud cuando las personas están con medicación, consumen bebidas alcohólicas o se encuentran en lugares elevados.

La fuente principal de emisión de monóxido de carbono, la constituye los motores de combustión interna. Los procesos industriales y la generación de energía, no emiten tanto monóxido de carbono.

Óxidos de azufre (SOx)

El dióxido de azufre (SO_2) es un gas incoloro, que puede permanecer en la atmósfera entre 2 y 4 días. Durante este tiempo, puede ser transportado a miles de kilómetros y transformarse en ácido sulfúrico, el cual precipita en alguna otra región lejos de su origen, en forma de lluvia ácida.

El ácido sulfúrico, el dióxido de azufre y los sulfatos, son irritantes de las mucosas del tracto respiratorio, pudiendo ocasionar enfermedades crónicas del sistema respiratorio, como bronquitis y enfisema pulmonar.

En una atmósfera con partículas suspendidas, el efecto dañino de los óxidos de azufre se incrementa, ya que el dióxido y el ácido sulfúrico paralizan los cilios del tracto respiratorio; las partículas de polvo penetran en los pulmones arrastrando también los compuestos azufrados, originando entonces graves daños, e incluso la muerte.

En las plantas, el SO_2 , ocasiona daños irreversibles en los tejidos, sobre todo en días soleados. Por otro lado, el ácido sulfúrico ataca los materiales de construcción como el mármol, la cantera, la cal y el mortero. Muchos de los monumentos, edificios, esculturas e iglesias se han deteriorado por esta causa. El ácido sulfúrico también daña las telas como el algodón, el lino, el rayón y el nylon. Las bibliotecas, también tienen problemas a causa de este compuesto, ya que las hojas de los libros se tornan amarillas. Por la misma causa, los artículos de piel se resecan y los metales se corroen.

La fuente principal de emisión de óxidos de azufre, es la de los combustibles fósiles que contienen azufre. Por consiguiente, las fuentes fijas, que consumen combustibles con alto contenido de azufre, son la causa principal de la emisión de azufre a la atmósfera.

La polución del aire por emisiones de óxidos de azufre, es un claro ejemplo de que la contaminación tiene efectos globales y regionales, y que no se restringe únicamente a las grandes ciudades. La lluvia ácida, que junto con el ácido nítrico, produce el ácido sulfúrico, en la transformación atmosférica de sus óxidos, cae en áreas lejanas a su fuente de contaminación y originan efectos destructivos de acuerdo al grado de sensibilidad del ecosistema.

Las lluvias ácidas, no pueden ser atribuidas únicamente a la industria y a las centrales térmicas. La contaminación urbana contribuye también en gran medida, a la contaminación general de la atmósfera.

Óxidos de Nitrógeno (NOx)

Los más importantes son el monóxido y el dióxido de nitrógeno. El dióxido, puede formar ácido nítrico y ácido nitroso en presencia de agua. Ambos pueden precipitar, junto con la lluvia o combinarse con el amoníaco de la atmósfera, para formar nitrato amónico.

El óxido nítrico, al igual que el monóxido de carbono, puede unirse a la hemoglobina de la sangre reduciendo su capacidad de transporte de oxígeno.

El dióxido de nitrógeno irrita los alvéolos pulmonares. Estudios de salud ocupacional, demuestran que este gas puede ser fatal a concentraciones elevadas. En contraste con el ozono, el NO₂ puede ser más abundante en interiores que en el exterior, esto se debe a que una fuente de este contaminante es la de las estufas de gas y los quemadores o calderas industriales, que utilizan este combustible.

Los óxidos de nitrógeno generan, junto con los hidrocarburos, la llamada contaminación fotoquímica, cuyo principal componente por reacciones secundarias, es el ozono. Los óxidos de nitrógeno son producidos principalmente, por el transporte y por la utilización de combustibles en la industria y, en la generación de energía.

Ozono

El ozono, como hemos dicho, es el principal oxidante fotoquímico presente en la atmósfera, además del nitrato de peroxiacetilo, los alquilnitratos y otros compuestos más.

A pesar de que el ozono es un contaminante muy inestable, que se destruye con la misma facilidad con que se forma, se ha demostrado a través de una gran cantidad de estudios, que por breve que sea su permanencia en la atmósfera, es un importante agente irritante para el sistema respiratorio, produciendo tos, flema, dolor al respirar e inflamación en el tejido pulmonar. Además, reduce la capacidad respiratoria, disminuye la capacidad mucociliar, y debilita las defensas naturales del aparato respiratorio. Por otra parte, se ha demostrado que las enfermedades respiratorias, son más frecuentes en niños expuestos al ozono. Asimismo, se ha observado que durante episodios de contaminación ambiental con altas concentraciones de ozono, existe un incremento notable en el absentismo escolar en niños en el ámbito preescolar y primaria (Romieu et al, 1995).

Gong (1987), considera que en las personas sanas, el ozono también causa problemas, pues hace que la respiración sea más difícil durante el trabajo y el

ejercicio, y causa irritación respiratoria general. Parece ser, que los síntomas de irritación, tienden a desaparecer en exposiciones repetitivas al ozono. Sin embargo, esta "atenuación de la respuesta" no es algo positivo, ya que el hecho de que no haya reacciones a la exposición, no significa que el organismo se haya adaptado al mismo. Existen evidencias que demuestran que la lesión pulmonar continúa, incluso durante la atenuación.

Un problema adicional, es el hecho de que los pulmones no terminan su desarrollo sino hasta que el individuo ha cumplido los 18 años. Por consiguiente, los pulmones aún no desarrollados, pueden sufrir un daño temprano por exposición al ozono, que puede aumentar el riesgo de contraer una enfermedad respiratoria en la vida adulta.

Otros contaminantes del aire

Actualmente, hay otros contaminantes atmosféricos, que son necesarios considerar, como el 1,3 butadieno, el medioambiente del humo de tabaco, los fluoruros, las fibras de los tejidos de vestir (MMVF), y hasta otros 120 compuestos químicos, que están en estudio. Dentro de éstos, destacan los llamados Contaminantes Peligrosos del Aire (CPA), algunos cancerígenos. De ellos, el asbesto, cloruro de vinilo, benceno, arsénico, berilio, mercurio, radón y otros radionucleidos diferentes del radón, son los más peligrosos para la salud.

Control de la polución. Medidas de contaminantes.

Los controles a efectuar, dependen de las ciudades, gobiernos o comunidades. Medidas que podemos considerar clásicas son las de SO₂, partículas suspendidas, CO, ozono y plomo. Medidas más avanzadas, incluyen además los NO_x, PAH, VOC y

metales pesados. La unidad de medida es el $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y los datos, se expresan en medias anuales, percentiles y tendencias.

Existen preferencias en cuanto a la concentración atmosférica de contaminantes del aire. Así, en general, cuando los NO_x y el ozono aumentan, descienden los niveles de otros contaminantes. El SO_2 y las partículas suspendidas, aumentan cuando se intensifican las combustiones. Los NO_x y el ozono aumentan, como consecuencia del incremento del tráfico y los COVs, son incrementados por fuentes industriales.

Las medidas, para el control de la contaminación atmosférica, se pueden realizar sobre la emisión de contaminantes específicos, o sobre la inmisión de ellos.

Para determinar la emisión de contaminantes de una fuente, se usan cuatro métodos de referencia. Estos métodos, permiten conocer la ubicación apropiada de la muestra, así como la velocidad, la composición y el contenido en humedad del flujo de gas. Estos cuatro métodos, se usan junto con otros específicos, diseñados para medir la concentración de contaminantes, como partículas y el dióxido de azufre.

De estas medidas, se obtienen los **inventarios de emisiones**, listados detallados de contaminantes emitidos por fuentes fijas, en una determinada área. Son herramientas valiosas de planificación y evaluación y, ayudan a definir la relación entre las fuentes contaminantes y las comunidades vecinas, contribuyen al desarrollo de estrategias alternativas para el control de la contaminación, y proporcionan información precisa sobre contaminantes, fuentes y emisiones.

Sin embargo, el desarrollo de un inventario de emisiones, es una tarea tediosa y detallada. Los datos que constituyen el inventario deben ser recopilados y analizados

cuidadosamente. Se deben seguir controles estrictos de garantía de calidad, para asegurar la precisión y validez del inventario.

La Comunidad de Madrid, ha utilizado el inventario de emisiones a la atmósfera en el ámbito nacional denominado CORINE-AIRE, para obtener una estimación de la importancia de las emisiones a la atmósfera en los últimos años, así como de los sectores que más influyen en cada tipo de emisiones. De dicho inventario, se deduce que las emisiones de SO₂ son poco importantes en la Comunidad Autónoma, siendo la distribución por sectores de estas emisiones la más repartida: la combustión comercial, residencial e institucional, la industria y el transporte son los principales contribuyentes. Por otro lado, las emisiones de COVs y NOx son considerables, siendo en este caso el sector del transporte la principal fuente. En cuanto al CH₄, las emisiones también son importantes, siendo el principal y casi único sector responsable de las mismas el constituido por el tratamiento y la eliminación de residuos. Por último, las emisiones de CO y CO₂ son las más altas de la Comunidad. En el caso del CO, las emisiones proceden fundamentalmente del transporte, mientras que las de CO₂ tienen un origen más repartido sectorialmente: la combustión comercial, residencial e institucional, el transporte y, en menor importancia, los procesos industriales y la naturaleza, son sus principales fuentes.

Por lo tanto, de lo anteriormente expuesto, parece ser que el transporte es la actividad que más contribuye a la incorporación de contaminantes a la atmósfera en la Comunidad de Madrid.

Por otra parte, en las grandes ciudades, se utilizan generalmente, medidas de inmisión y de fuentes móviles (tráfico rodado), de los contaminantes del aire.

Los indicadores básicos de referencia de la contaminación atmosférica, se denominan “contaminantes criterio”, como ya hemos indicado. En las medidas de contaminación del aire urbano, se suelen utilizar, para este fin, las partículas y el SO₂, por su efecto sinérgico ya comentado.

Actualmente, para detectar la contaminación atmosférica, se emplean las llamadas redes de vigilancia, que tienen carácter automático. Un modelo a seguir, es la Red de Vigilancia del Excmo Ayuntamiento de Madrid, obra iniciada por el Prof. Doadrio López, como fundador en 1968 y primer Jefe del Servicio de Contaminación Atmosférica, actualmente denominado Departamento de Calidad Ambiental, del Área de Medio Ambiente y acreditado como una de las más solventes tradiciones de esta nación en la medida de contaminantes. Hoy en día, Madrid capital, cuenta con 25 estaciones automáticas de medida, repartidas por toda la ciudad y que miden la concentración en el aire de dióxido de azufre, partículas en suspensión, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, benceno, tolueno, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, ácido clorhídrico, así como niveles sonoros, radiación U.V., temperatura, humedad relativa, presión, velocidad y dirección del viento, factores muy importantes estos últimos para el estudio de la dispersión de los contaminantes, como hemos indicado anteriormente. Las concentraciones diarias de estas medidas, en tiempo real, son almacenadas en un ordenador central, que analiza los resultados. Estos, son expuestos en los paneles de información que el Ayuntamiento ha dispuesto en las calles de Madrid, con tres niveles, bajo, medio y alto. Respecto a medidas obtenidas el año pasado, las estaciones de Madrid que registraron peores observaciones fueron las Marqués de Vadillo, Villaverde, Plaza de España, y Quevedo.

La Comunidad de Madrid, por su parte dispone también de una Red Automática, con nueve estaciones, ubicadas en Alcalá de Henares, Alcorcón, Alcobendas, Fuenlabrada, Móstoles, Getafe, Leganés, Torrejón y Coslada.

Un problema que se plantea en las grandes urbes, es la dificultad de evaluar el nivel de exposición de una persona cuando camina o conduce en medio del tráfico, como se deduce de los estudios realizados en México DF, que demuestran que las concentraciones encontradas en microambientes, como en las banquetas de calles de tráfico intenso (acera de la calle, paso a lo largo de la fachada de las casas), o en el interior de vehículos, son mayores que las concentraciones detectadas en las estaciones de medida.

La Red Española de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica en el ámbito regional, está integrada en el Programa EMEP (European Monitoring Evaluation Programme), nacido del Convenio de Ginebra sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Gran Distancia, y en la Red BAPMoN (Background Air Pollution Monitoring Network), del Programa para la Vigilancia de la Atmósfera Global, de la Organización Meteorológica Mundial. La gestión y explotación de ambas redes, que miden la contaminación de fondo en áreas rurales (la que pueda existir alejada de los focos de emisión), son realizadas, conjuntamente por el Ministerio de Medio Ambiente (Instituto Nacional de Meteorología y la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental) y el Ministerio de Sanidad y Consumo (Instituto de Salud Carlos III).

En el ámbito mundial, hay una gran preocupación por el establecimiento de estas Redes de Vigilancia, y ya desde hace décadas, en muchos países se han puesto en marcha, promovidos por Organizaciones Internacionales, Gubernamentales o privadas. La OMS, ha organizado durante la última década, el Sistema de Información de la Gestión de la Calidad del Aire (AMIS), con presencia a nivel mundial y que brinda

información global para la gestión racional de la calidad del aire, incluyendo modelos de calidad, elaboración de inventarios de emisiones y todo lo relacionado con las redes de vigilancia de la contaminación atmosférica.

En 1967, la OPS (Organización Panamericana de la Salud), a través del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), crea la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación del Aire, conocido por REDPANAIRE, que en 1973 contaba con más de 80 estaciones, distribuidas en 14 países, lo que supuso un gran avance en el control de la contaminación, en los países del Caribe y América Latina, pues ningún país de la OPS, conocía la magnitud real de sus problemas. Sin embargo, en una encuesta reciente de la OPS; sólo diez países tienen redes de control de la contaminación, nueve tenían desarrollados inventarios de emisiones y solo seis, habían establecido estándares de calidad del aire. A este respecto, cabe destacar, el esfuerzo realizado por México, que cuenta con inventarios de emisiones en la Zonas Metropolitanas del Valle de México, Guadalajara, Monterrey, Toluca, y Ciudad Juárez. Asimismo, se realiza un control de inmisiones de la ciudad de México, donde se ha establecido un índice de contaminación, el IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire), en el que se representa con un valor de 100 puntos, el límite considerado como satisfactorio. Todos los días, a través de la radio, la televisión, los periódicos y algunas pantallas colocadas en los principales cruces, se informan de las condiciones del aire, que mide constantemente la denominada Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA).

Además de las Redes de Vigilancia, se establecen otros controles en el ámbito supranacional. Por ejemplo, los científicos del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, han contribuido al desarrollo y pruebas de un sensor, que permite hacer un mapa de la contaminación del aire urbano en toda Europa. En el proyecto MACBETH de la CE, se utilizaron estos sensores para medir los niveles de benceno

en seis ciudades europeas, incluyendo Copenhague en el Norte y Atenas en el Sur, demostrando que las concentraciones de benceno, van aumentando según se baja hacia el Sur de Europa. Los niveles de benceno son diferentes a causa del tiempo, del estilo de vida, de la estructura de la ciudad y de la densidad del tráfico.

Problemática social de la polución del aire urbano

Venía a decir el Prof. Domínguez Carmona, en la conferencia "La Salud en el Estado de Bienestar" (Curso Salud, Educación y Energía: Recursos cualificados para el siglo XXI), que pronunció en esta Real Academia en Mayo del 2000, que la sociedad del bienestar delega en el Estado la protección de la Salud. La problemática social que representa la contaminación también es transferida al Estado. Que el Estado se ocupe de todo y que resuelva nuestros problemas, es en la sociedad moderna una necesidad más. Sin embargo, en el tema de la polución urbana, aún no hay una sensibilidad ciudadana, como ocurre con otros problemas, como la destrucción de la capa de ozono, aunque sí es cierto que las alertas por altos niveles de ozono o la de dioxinas, sí que preocupa, quizás porque se cree, erróneamente, que es una problemática más industrial y no afecta directamente a nuestro bienestar. Pero, como decíamos anteriormente, el gran problema de la polución urbana es el tráfico rodado, junto con las calefacciones y otras combustiones, y aquí nos encontramos con el vehículo privado. El culto de nuestra civilización a éste, que le considera como símbolo de bienestar y de nivel social, impide de momento una respuesta ciudadana a este grave problema de contaminación. Por tanto, la mejora del proceso de combustión en los vehículos, con gasolinas optimizadas, sin plomo, o con combustibles ecológicos y la intervención del Estado en la vigilancia y control del estado de los vehículos, parece ser de momento el único camino para al menos, mejorar el nivel de contaminación del aire urbano.

Tampoco hay de momento una destacada preocupación urbanística, de manera que se estructuren las ciudades con vistas a una mejor dispersión de los contaminantes. Hay que contar con grandes avenidas, que sirvan de efecto "escoba", mayores espacios verdes, y una mejor estructuración del tráfico rodado. Aunque, en cuanto a los espacios verdes, parece ser que hay que tener cuidado que plantas hay

que elegir para nuestros parques y jardines, porque según un estudio del Centro de Investigación Científica e Industrial de Australia (CSIRO), algunas plantas autóctonas de este país emiten componentes químicos, que pueden interaccionar con partículas contaminantes y aumentar la contaminación fotoquímica de las ciudades. Los aparentemente inofensivos árboles de eucaliptos y el césped, según este estudio, contribuyen a la formación de la contaminación fotoquímica, debido a que estas plantas liberan hidrocarburos reactivos, que se añaden a la contaminación producida por la reacción de la luz del sol con componentes químicos liberados de la industria, o de los coches.

Contaminación del aire dentro de los edificios

Existen tres tipos de problemas asociados con la contaminación del aire dentro de los edificios: La "Tradicional", debida a la cocción de alimentos, normalmente dentro de las casas, la cual produce humo, partículas, monóxido de carbono y otros gases que afectan principalmente a los ciudadanos de escasos recursos. Más de un millardo de personas de los países en vías de desarrollo, son víctimas de este tipo de contaminación. La "Ocupacional", que genera enfermedades tales, como la silicosis, la intoxicación por mercurio, y otras. Sus víctimas principales, son los mineros y los trabajadores de las industrias, y la "Moderna" que afecta a las personas que viven en los edificios modernos con poca ventilación, y que parece ser debida al radón y al asbesto presentes en los materiales de construcción, y al formaldehído emitido por materiales aislantes.

La contaminación tradicional, es más grave de lo que parece. La quema de biomasa para cocinar, realizada por las personas de escasos recursos, es según la OMS, el mayor problema de salud por contaminación del aire dentro de las viviendas en la actualidad, y se estima que casi 1,5 millardos de personas viven en ambientes de

aire poco sano. Altos niveles de exposición al humo, entre diez o más veces mayores que los límites recomendados por la OMS, se producen en varios países en vías de desarrollo, y se relacionan con las Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), sobre todo con la neumonía. Las mujeres, quienes todavía realizan más del 90% de las tareas domésticas, incluyendo cocinar, y los niños, son la población que se expone en mayor medida y de forma continuada a la contaminación del aire dentro de las viviendas. Los niveles de contaminación en las casas y cocinas, representan la dosis equivalente a fumarse varios paquetes de cigarrillos al día. Las IRAs resultan así, el riesgo de salud más importante para los niños en las naciones en vías de desarrollo, y son las responsables de unos 4,3 millones de muertes al año. Entre todas las enfermedades endémicas, incluyendo la diarrea, las IRAs constituyen la causa de enfermedad más universalmente extendida.

Pero este tipo de contaminación, no solo afecta a países en vías de desarrollo. Las urbes modernas, se ven influidas también, aunque en menor medida, por la presencia en el interior de las viviendas, de aerosoles, CO, N₂O y benzo-alfa-pireno, siendo este último cancerígeno, además de los componentes de la denominada contaminación moderna.

En los países en vías de desarrollo, la concentración de estos contaminantes en el interior de las viviendas, es de 1-20 mg/m³ de aerosoles, 10-50 mg/m³ de CO, 0,1-0,3 mg/m³ de N₂O y de 1-20 µg/m³ de benzo-alfa-pireno, siendo que para la OMS, las exposiciones recomendadas diarias para estos contaminantes deben ser de 0,12 mg/m³, 10 mg/m³, 0,15 mg/m³ y 0,001 µg/m³. Una exposición a estas últimas concentraciones de benzo-alfa-pireno, es ya causante de cáncer después de una exposición muy prolongada.

Los efectos sobre la salud de esta contaminación interior, son especialmente importantes en las grandes urbes, porque pasamos del 70 al 90% de nuestro tiempo en lugares cerrados, y algunos contaminantes, pueden estar de dos a cinco veces más concentrados en el interior que en el exterior. Los más afectados son los niños, las personas mayores y las que sufren enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Este tipo de contaminación, origina el denominado "síndrome del edificio enfermo", término que ha surgido para describir los edificios en los que un alto porcentaje de personas experimentan efectos agudos sobre la salud y el bienestar, y que aparentemente se vinculan al tiempo que pasan en el edificio, pero para los cuales no se pueden identificar causas específicas. Los síntomas físicos del síndrome del edificio enfermo pueden ser: irritación de ojos, nariz y garganta, dolores de cabeza, tos seca, piel seca o irritada, asma, náuseas, dificultades para concentrarse, fatiga y sensibilidad a los olores. Generalmente, estos desaparecen o disminuyen de forma significativa cuando las personas salen del espacio afectado.

El humo de tabaco en el ambiente (HTA), es un importante contaminante del aire de interiores. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha clasificado al HTA como un carcinógeno para los seres humanos (Grupo A), que afecta también al fumador pasivo, estimándose que en los Estados Unidos, aproximadamente 3.000 no fumadores mueren de cáncer de pulmón por esta causa. La Sanidad General de los Estados Unidos, el Consejo de Investigación Nacional y el Instituto Nacional para la Seguridad Ocupacional y Salud, también concluyeron que el tabaquismo pasivo puede causar cáncer de pulmón en los adultos sanos que nunca han fumado. Estudios recientes agregan la "radiactividad" a los efectos nocivos del humo del tabaco, por la presencia en el mismo de Polonio 210, con poder ionizante nocivo muy elevado, cuando entra en contacto con tejidos vivos. La peligrosidad del Polonio 210 se debe a que, a la temperatura de combustión del cigarrillo (600–800 °C), se volatiliza y se inhala, en parte libre y en parte corpuscular y, se deposita

rápidamente en los tejidos del aparato respiratorio, sobre todo a nivel de las bifurcaciones bronquiales.

Otros dos contaminantes de interiores son el Radón 222 y el monóxido de carbono. El Radón 222, es un gas radiactivo, que proviene de fuentes naturales, se encuentra en materiales de construcción, y puede originar cáncer de pulmón. Afortunadamente, se puede reducir con la circulación del aire y ventilación adecuadas.

Legislación y política contra la contaminación del aire

La legislación para el control de la contaminación del aire, no empieza en épocas modernas, tal como muchos piensan. En 1306, por citar un ejemplo, Eduardo I de Inglaterra, prohíbe la quema de carbón en los hornos artesanos, debido a los gases hediondos.

Inicialmente, los gobiernos municipales, eran los encargados de aprobar y hacer cumplir la legislación, en esta materia. En la década de los 50, los gobiernos federales o estatales, toman el control de esta situación. Así, en 1955, el gobierno federal de los Estados Unidos, aprueba la Ley para el control de la contaminación del aire, estableciendo programas federales para investigar los efectos de esta, sobre la salud y el bienestar. La aprobación posterior, de la Ley del Aire Limpio en 1970, marca el inicio de los esfuerzos para controlar la contaminación en Estados Unidos, con las técnicas más modernas, determinando metas ambiciosas para reducir las fuentes fijas y móviles de contaminación del aire. Así, se fijó que para 1975, los fabricantes de automóviles, redujeran en un 90% la emisión de contaminantes en los nuevos vehículos, y se fijaron límites específicos, para las emisiones de CO, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno. Además, se crea por entonces, la Agencia de Protección Ambiental (EPA), para garantizar el cumplimiento de las normativas relacionadas con

el medioambiente, cambiando la política estadounidense, de ser sólo educativa y de asesoramiento, a tener también un control efectivo de la contaminación del aire.

Las acciones específicas, de control de la contaminación del aire en Estados Unidos, se inician con las Normas Nacionales de calidad del aire ambiental y contaminantes criterio (NNCAA), que limitan la concentración de contaminantes que ponen en peligro la salud o el bienestar público, y que se encuentran en ambientes exteriores.

En 1990, con la aprobación de las enmiendas a la Ley del Aire Limpio, de 1970, se enfatiza el control de emisiones de contaminantes peligrosos, y se introduce el control de la lluvia ácida y de la destrucción del ozono.

La política de mejora de la calidad del aire, es ya una prioridad a escala mundial. Así, el Convenio marco de las Naciones Unidas (1992) y el Protocolo de Kioto (1997), seguida de la Conferencia de Buenos Aires en 1998, son importantes plataformas de partida hacia la sostenibilidad de nuestro Planeta.

En este sentido, la Agenda 21 constituye un manual de referencia para la determinación de políticas empresariales y gubernamentales, así como para la adopción de decisiones personales con las que nos adentraremos en el próximo siglo. Este documento fue suscrito en la Cumbre de la Tierra, la más grande reunión de dirigentes mundiales, que se celebró en junio de 1992, en Río de Janeiro (Brasil). Asistieron a esta reunión, organizada durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, los jefes o los más altos representantes de los Gobiernos de 179 países, junto con cientos de funcionarios de los organismos de las Naciones Unidas, de representantes de gobiernos municipales, círculos científicos y empresariales, así como de organizaciones no gubernamentales y otros grupos.

Paralelamente, en el contexto del Foro Mundial '92, tuvieron lugar diversas reuniones, charlas, seminarios y exposiciones públicas sobre cuestiones relativas al medio ambiente y al desarrollo, a las que acudieron 18.000 participantes de 166 países y unos 450.000 visitantes. Cerca de 8.000 periodistas se informaron acerca de las reuniones en Río de Janeiro, y los resultados se dieron a conocer en todo el mundo por medio de la prensa, la radio y la televisión.

La cumbre de Río fue el producto de la preocupación mundial por el medio ambiente que surgió en 1972, cuando 70 gobernantes se reunieron en Estocolmo durante una conferencia. En ella se creó el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuya función principal consistió en presionar a los gobiernos para que protegieran el medio ambiente.

Patrocinado por el PNUMA, y con el Gobierno de Suecia como anfitrión, se celebró el "Primer Foro Global Ministerial de Medio Ambiente" del 29 al 31 de mayo del 2000, en Malmö, Suecia. Más de 100 ministros del medio ambiente de todo el mundo, se reunieron para revisar importantes temas ambientales y para contribuir a definir la agenda global para el medio ambiente y desarrollo sostenible del siglo XXI.

El Tratado constitutivo de la Unión Europea, establece entre los objetivos de la política medioambiental de la Comunidad, en su artículo 174, el fomento de medidas a escala internacional, destinadas a hacer frente a los problemas regionales o mundiales del medioambiente. A tal efecto, el Tratado prevé la cooperación de la Comunidad con terceros países y con las organizaciones internacionales competentes, como es la participación plena en los trabajos de la Comisión para un Desarrollo Sostenible, de las Naciones Unidas, organismo encargado del seguimiento de la Conferencia de Río.

Las primeras acciones de la Europa comunitaria, comenzaron en 1972, en el marco de 4 programas de acción sucesivos, con un enfoque vertical y sectorial de los problemas ecológicos. Durante este período, la Comunidad adoptó cerca de 200 actos legislativos, consistentes fundamentalmente en limitar la contaminación mediante la introducción de normas mínimas, en particular en materia de gestión de los residuos y contaminación del agua y del aire. Sin embargo, la propia UE reconoce que “la introducción de este marco reglamentario no ha logrado impedir el deterioro del medio ambiente, pero que gracias a la toma de conciencia de la opinión pública acerca de los riesgos vinculados a los problemas globales del medio ambiente, la necesidad de adoptar un enfoque concertado a la escala europea e internacional es ahora indiscutible”.

La acción comunitaria se ha ido desarrollando con el paso de los años, hasta que el Tratado de la Unión Europea le confirió el carácter de política. El Tratado de Ámsterdam prosiguió esta evolución, mediante la integración del principio de desarrollo sostenible entre los objetivos de la Comunidad Europea.

El Quinto programa de acción para el medio ambiente, titulado "Hacia un desarrollo sostenible", que establece los principios de una estrategia europea voluntarista para el período 1992-2000, marca el principio de una acción comunitaria horizontal, teniendo en cuenta todos los factores de contaminación (industria, energía, turismo, transportes, agricultura, etc.).

Otro paso importante, lo dio el Consejo Europeo de Viena (11-12 de diciembre de 1998), donde se establece la integración de la problemática medioambiental en todas las políticas relacionadas, y que se ha convertido en una obligación para las instituciones comunitarias, además de la creación de la Agencia Europea del Medio Ambiente.

. La legislación comunitaria en el ámbito de la contaminación del aire, tiene por objetivo prioritario luchar contra las emisiones derivadas de actividades industriales y vehículos de transporte. En materia de transporte, la estrategia se basa en varios elementos: una reducción de los residuos contaminantes de los vehículos (catalizador, control técnico); una disminución en la venta de vehículos privados (en colaboración con los fabricantes de automóviles) y la promoción de vehículos propios con medidas fiscales.

Hay sin embargo, una gran preocupación en la Comunidad por la situación de los países de Europa Central y Oriental (PECO), candidatos a la ampliación de la CE, ya que su medio ambiente está muy deteriorado. La Unión Europea, cree que la ampliación a los PECO, es un reto en el plano medioambiental de una magnitud, que no puede compararse a las anteriores adhesiones. Los países candidatos a la adhesión deberán incorporar los valores comunitarios medioambientales en su legislación, y este proceso no parece que pueda producirse a corto plazo.

La integración de la política de la CE en el medioambiente, llega hasta el medio urbano. En la Propuesta COM(1999)557 (Diario Oficial C56E de 29.02.2000), se establece que: "El estado del medio ambiente urbano, en el que vive un 80% de la población europea, constituye una preocupación fundamental, con implicaciones a escala local, europea y mundial. El agotamiento de los recursos naturales y el aumento de la contaminación y del volumen de residuos inciden en los ecosistemas locales, regionales y mundiales."

La Comunidad, contrajo un compromiso internacional en la Cumbre de Río. La Agenda 21, prevé que la mayoría de las autoridades locales de cada país establezcan un mecanismo de consulta de la población. Tras la Comunicación "Marco de actuación para el desarrollo urbano sostenible en la Unión Europea" [COM(1998) 605 final], la

propuesta de Decisión del Consejo y del Parlamento Europeo, establece un marco comunitario de cooperación, destinado a fomentar la concepción, el intercambio y la aplicación de buenas prácticas, en el sector del desarrollo urbano sostenible y de la Agenda 21. Los principales socios, son la Comisión y las redes de ciudades organizadas a escala europea. La Campaña de Ciudades Europeas Sostenibles, es una alianza de 540 autoridades locales, comprometidas en el desarrollo de políticas y actuaciones locales para su sostenibilidad.

Pero además de declaraciones de buenas intenciones, recomendaciones y algunas regulaciones parciales de emisiones, la CE establece un marco jurídico para el control de la contaminación, y en el caso que nos ocupa, también de la polución del aire. La Directiva 30/99, establece valores límite y umbral de alerta para los óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas PM10 y plomo, que deben cumplirse entre el 1 de Enero del 2.005 y el 1 de Enero del 2.010.

Además, la Directiva, determina los requisitos necesarios para la evaluación de las concentraciones de estos contaminantes, en el aire ambiente dentro de una zona o aglomeración. Un aspecto fundamental de esta Directiva, es que por primera vez, establece la ubicación de los puntos de muestreo para la medición de las concentraciones de los contaminantes contemplados en ella, y los métodos de referencia para la evaluación de dichas concentraciones, con lo que el analista, se encuentra con una valiosa herramienta para contrastar su método analítico, que debe ser validado de acuerdo con esta normativa.

Por otra parte, en relación con la calidad del aire, especialmente en el ámbito urbano, la UE ha aprobado la Directiva 2000/69/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de noviembre de 2000, sobre los valores límites para el benceno y el monóxido de carbono en el aire ambiente (D.O.C.E. Serie L 313, de 13.12.2000), que

establece valores mínimos para tal fin. Según la propuesta de Directiva, en el año 2.005 deberá alcanzarse el valor límite de 10 mg/m³ de monóxido de carbono y en el año 2.010, el valor límite de 5 mg/m³ de benceno. Para alcanzar estos objetivos, los niveles más altos de CO deberán reducirse en un tercio, y las emisiones de benceno en más de un 70%.

En España, la legislación estatal de carácter general en materia de contaminación atmosférica, está formada por normas de tipo general y sectoriales. La primera norma importante de carácter general fue la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico, desarrollada mediante el Decreto 833/1975, de 6 de febrero, donde se detallan los niveles de emisión de contaminantes a la atmósfera, de las principales actividades industriales potencialmente contaminadoras.

En la actualidad, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, del Ministerio de Medio Ambiente, está trabajando en la elaboración de las Directivas que habrán de desarrollar las Directivas marco del Consejo de Europa, antes comentadas, lo cual implica la modificación de la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico de 1972, que debe adaptarse a los cambios producidos desde su publicación.

También la legislación española contempla normas sectoriales, como las que establecen determinados niveles de emisión de las instalaciones industriales, y de determinada maquinaria y equipos, o las normas que regulan diversos aspectos de contaminantes concretos, como el plomo, el amianto o el ozono.

En el ámbito local es donde se toman las medidas más restrictivas, y por tanto impopulares. En Madrid capital, el Ayuntamiento, promulgó la Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano (OGPMAU), actualmente en revisión. En ella, y

entre otras medidas, se establecen una serie de condiciones de niveles de inmisión para la declaración de situación de alerta atmosférica:

- 1ª. Que la concentración de SO₂ media diaria de toda la Red Automática de Control sobrepase el límite de 200 µg/m³.
- 2ª. Que la concentración de SO₂ media diaria de una estación sobrepase el límite de 350 µg/m³.
- 3ª. Que la concentración de partículas en suspensión media diaria de toda la Red Automática de Control sobrepase el límite de 150 µg/m³.
- 4ª. Que la concentración de partículas en suspensión media diaria de una estación sobrepase el límite de 300 µg/m³.

El Ayuntamiento de Madrid, emplea los dos contaminantes criterios clásicos, el SO₂ y partículas. Comparando sus niveles, con los de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA), que establece como concentraciones máximas atmosféricas diarias permitidas, de dióxido de azufre 365 µg/m³ y de partículas 260 µg/m³, se puede observar que los límites del Ayuntamiento de Madrid (200 y 150 µg/m³, respectivamente), son más exigentes. La EPA, establece además, límites para los óxidos de nitrógeno (100 µg/m³/diario anual) y para hidrocarburos (160 µg/m³/3h). Los valores de la Directiva CE 30/99 son aún más rigurosos, y así para el 2.005, las concentraciones de SO₂, no podrán superar los 125 µg/m³, diarios y los 50 µg/m³, para partículas. En el año 2.000, el límite para partículas, se superó en Madrid, en 2.075 ocasiones, frente a las 1.674 de 1999, de un total de 9.125 registros, con respecto a la citada Directiva comunitaria.

En caso de alerta, las medidas a tomar por el Ayuntamiento de Madrid, se establecerían en tres bloques:

- PRIMER BLOQUE: Limitación de la carga y descarga, vigilancia de aparcamientos prohibidos, red de vías prioritarias, prohibición de detención de los vehículos y limitación de encendidos de las calefacciones.
- SEGUNDO BLOQUE: Prohibición del estacionamiento a los no residentes y más restricciones de carga y descarga.
- TERCER BLOQUE: Máxima restricción del uso de vehículos privados, prohibición de encendido calefacciones y cierre temporal de industrias contaminantes.

La utilización de potentes programas informáticos, como el Airware, permite la evaluación de la dispersión de la polución urbana a través de modelos matemáticos, teniendo en cuenta las vías de tráfico más importantes de la ciudad. AirWare puede estimar la contaminación atmosférica generada por el tráfico de vehículos (emisiones e inmisiones), simular la calidad del aire para contaminantes tales como SO₂, NO_x, ozono, hidrocarburos volátiles y partículas en suspensión y evaluar el impacto ambiental y el costo-beneficio, de utilidad para establecer políticas de control del tránsito de vehículos y de otras fuentes de emisión.

El proyecto LIFE de la UE, supone un estudio sin precedentes de la contaminación atmosférica urbana, producida por el tráfico automovilístico. El Área de Contaminación Atmosférica del Centro Nacional de Sanidad Ambiental del Instituto de Salud Carlos III y el Departamento de Calidad Ambiental del Área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Madrid, dentro del subproyecto, denominado "Desarrollo de un modelo de medida de contaminantes atmosféricos de alta resolución espacial para verificar la reducción de emisiones de precursores de ozono, del programa Auto-Oil", participan en este proyecto. Además de Madrid, intervienen otras ciudades europeas como París, Roma y Dublín y cuenta con el apoyo del Centro de Investigación de la Unión Europea. Los objetivos del subproyecto, son principalmente dos: por un lado verificar la efectividad del Programa Auto-Oil, que tiene por finalidad la reducción de

las emisiones de gases de los automóviles, y por otro, dar cumplimiento a lo establecido en la Directiva 96/62/CE, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente.

Otro proyecto importante, es el "RESOLUTION" de la CE, que implica la medición de los niveles de dióxido de nitrógeno y de benceno en 300 puntos de la ciudad de Madrid, con muestreadores pasivos. Los muestreadores se sitúan a una altura de 2,5 metros sobre el nivel del suelo, preferentemente en farolas de alumbrado público y en diferentes ubicaciones, tales como fondo urbano (donde se estima encontrar los niveles medios), puntos críticos (glorietas, entradas de las principales carreteras), calles cañón (alta densidad de tráfico y edificios altos), y zonas periurbanas (fuera de la ciudad, en áreas rurales).

Aunque, la reglamentación de la contaminación del aire, se centra principalmente en su regulación en exteriores, actualmente se están llevando a cabo, programas de investigación y normativas, sobre sustancias en interiores, como el radón, asbesto, humo del tabaco, formaldehído, plaguicidas y compuestos clorados de líquidos de limpieza y desodorantes del aire.

Pero toda esta normativa sería de difícil cumplimiento, sino se desarrollan reglamentos para controlar la contaminación del aire. Para minimizar el tiempo y costo de un reglamento, es necesario un proceso de negociación, en los que los representantes de las partes interesadas, tales como la industria, grupos ambientales, organismos estatales y locales, se reúnan, para tratar las diversas alternativas, lo desarrollen y sea aceptado por todas las partes.

También, programas de control voluntario de la contaminación del aire, promovidos por el Estado, pueden resultar interesantes. Uno muy conocido, y

aceptado, en Estados Unidos, es el Programa de Reducción Anticipada, que ofrece un incentivo a las industrias, para que reduzcan la emisión de contaminantes, antes de su reglamentación obligatoria.

Es seguro, que a medida que avance el conocimiento científico sobre esta problemática, se identificarán nuevos problemas de contaminación del aire, lo que dará lugar a cambios continuos en los enfoques técnicos y normativos para su control.

Las nieblas contaminantes

Las nieblas contaminantes o “smog”, pueden estar compuestas de ozono, peróxidos, hidrocarburos, hollín, óxidos de azufre y nitrógeno y, metales. Obedece a un tipo de contaminación específica de los vehículos a motor, y se produce en ciudades con condiciones climáticas y geográficas especiales, como Los Ángeles, Madrid o Londres.

Hay dos tipos de nieblas; la fotoquímica, que es la que se produce en Los Ángeles o Madrid, y la de tipo Londres.

En las nieblas fotoquímicas, se producen un aumento en la concentración de ozono debido a reacciones de los hidrocarburos, que además forman el PAN (nitrato de peroxoácido), muy agresivo y tóxico. Se producen a mediodía, en condiciones suaves de temperatura (20-25 °C), con humedad atmosférica baja y con una capa de inversión térmica media variable (que se produce cuando el aire más caliente está por encima del aire frío, inhibiéndose la mezcla vertical). Es una niebla oxidante y requiere la incidencia solar.

En las nieblas tipo Londres, la temperatura ambiente debe ser baja, no superior a 5 °C, con alta humedad atmosférica y con una capa de inversión térmica cercana al suelo. Está compuesta de hollín y óxidos de azufre y, es reductora. Este tipo de nieblas, produce lluvia ácida urbana, como consecuencia de la reacción del SO₃ con las gotitas de humedad, que producen ácido sulfúrico.

Estas nieblas, han dado lugar a importantes episodios de contaminación de consecuencias trágicas, sobre todo en Londres, donde es conocida como niebla mortal.

La causa principal de las nieblas fotoquímicas, son el espectacular aumento del parque automovilístico registrado en las grandes ciudades, que produce un incremento de los contaminantes fotooxidantes, a base de dióxido de nitrógeno y de ozono, y de la contaminación por compuestos orgánicos volátiles, que resultan de la evaporación de los carburantes. Actualmente la contaminación de origen automovilístico, sería la responsable de entre el 50% y el 70% de la contaminación urbana de las ciudades de Europa occidental y de América del Norte. El porcentaje es mayor en Europa del Este y más aún en la ciudad de México.

El control de los niveles de ozono, resulta pues básico en numerosas ciudades, con el fin de combatir las nieblas fotoquímicas.

En la legislación española, se establecen cuatro umbrales de concentraciones de ozono: Umbral de protección de la salud (110 µg/m³ como valor medio en 8 horas). Umbral de información a la población (180 µg/m³ como valor medio en 1 hora). Umbral de alerta a la población (360 µg/m³ como valor medio en 1 hora) y Umbral de protección para la vegetación (200 µg/m³ como valor medio en 1 hora).

Por las características del término municipal, no es aplicable a Madrid y, por tanto, a las exhaustivas medidas de ozono, que realiza el Sistema de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica del Ayuntamiento de Madrid, puesto que las mediciones han de realizarse en puntos muy alejados de las fuentes y de las zonas edificadas. De todas formas, la contaminación por ozono, no es de momento preocupante en la Capital. Las medidas realizadas en verano (mas de 200.000), que es la peor época para la contaminación por ozono, arrojan valores de 30 a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el año 2.000, resultando el mejor mes septiembre, y el peor agosto, siendo éstos inferiores a los de 1.999, y muy por debajo del nivel de alerta, incluso del objetivo establecido por la Directiva 92/72, sobre contaminación por ozono (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Aunque, si es cierto, que ocurren episodios concretos en la Capital, como es el caso del verano del 2.000, en el que solamente en dos ocasiones, de las 33.000 valoraciones horarias, concretamente en la Glorieta del Emperador Carlos V y en la Glorieta de Cuatro Caminos, sobrepasaron, el 24 de junio a las 17 h, el umbral de información a la población fijado en 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con 185 y 191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, frente a las 7 en que se sobrepasaron en la Estación de Alcobendas, 2 en Alcalá de Henares y Torrejón y 1 en Coslada. Los episodios fueron oportuna y rápidamente comunicados a la población.

Si la situación empeorara y se alcanzara, o fuera previsible que así sucediera, el umbral de alarma, se tomarían la serie de medidas que se prevén en la Ordenanza de Protección de Medio Ambiente Urbano, junto a las que se estimaran oportunas, de acuerdo con las características del episodio. Todo ello, sin perjuicio de las que en su momento establezca la "Comisión Regional de Alerta por Ozono", de la que forma parte el Ayuntamiento de Madrid, creada por Decreto de la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad Autónoma de Madrid, el pasado 20 de Julio, cuyas funciones, son "coordinar, valorar, proponer y protocolizar la adopción de las medidas tendentes a evitar la superación del umbral de alerta a la población, así como de

aquellas otras que resulten necesarias para paliar los efectos de la superación de dicho umbral, en caso de producirse".

Comparando esta situación con la de la Zona Metropolitana del Valle de México, también con problemática potencial de niebla fotoquímica, donde el ozono, supera en más de 300 días por año los niveles umbral (en el año 1991, fueron 350 días), la situación en Madrid nos puede resultar tranquilizadora.

El problema del ozono, es que las medidas coyunturales para reducir sus niveles, no son tan efectivas como con otro tipo de contaminantes. Es más, en algún caso, aquellas pueden producir un efecto contrario al deseado. Así, una reducción drástica del tráfico, al provocar un descenso de los niveles de NO en la atmósfera, puede impedir la disminución de los niveles de ozono que previamente se hubieran formado. Lo que sí es efectivo en la lucha contra el ozono, aparte de las medidas estructurales que limiten las emisiones de precursores a la atmósfera, es conseguir que la población adopte una serie de hábitos que van a tener una favorable incidencia, no sólo en los niveles de ozono, sino también en los de muchos otros contaminantes. El ahorro de energía, la utilización del transporte público e incluso caminar, si las distancias lo permiten, la conservación y mantenimiento del vehículo en las condiciones de funcionamiento correctas, llenar el depósito del coche, sobre todo en verano, en las primeras y últimas horas del día, y otras muchas medidas, todas ellas de sentido común, son actuaciones que inciden muy favorablemente en la calidad del aire que nos toca respirar en una ciudad.

Polución industrial

Después de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, y particularmente en el siglo XX, la agresión antropogénica hacia el medio ambiente ha sido cada vez

más importante debido al crecimiento de la población y al enorme incremento en el consumo personal, principalmente en los países industrializados. Lo que caracteriza estos cambios medioambientales causados por la humanidad, es que ocurren en cortos períodos de tiempo.

La contaminación del aire por parte de las industrias, resulta de cantidad variable. En China, por ejemplo, según datos del Organismo Estatal de Protección del Medio Ambiente, las fábricas provocan más del 70% de la contaminación total del país, el 72% de las emisiones de dióxido de azufre y el 75% del polvo de combustión, componente de las partículas en suspensión, mientras que en Brasil, como muestra en contrario, las emisiones de vehículos y viviendas, suponen la participación más importante en la polución del aire.

Hay que tener en cuenta además, que existen industrias contaminantes ubicadas en zonas metropolitanas densamente pobladas, con exposición directa a las emisiones y que puede causar daños graves a la salud humana.

En los países en desarrollo, en sus primeras etapas, concentran sus pocos recursos en las industrias que más contaminan, más susceptibles de control que las unidades familiares, y los vehículos.

La industria emite contaminantes sólidos, en forma de aerosoles o partículas suspendidas, que contribuyen en gran medida, a la formación de nieblas. La investigación de estos contaminantes, sin embargo, ha supuesto una valiosa ayuda para establecer sus fuentes de emisión y generar políticas ambientales racionales y de control de la contaminación atmosférica.

Las industrias, y en especial las centrales térmicas, son las mayores responsables de las emisiones de dióxido de azufre. Los procesos industriales, con un 22 % y la combustión de carbones junto con el gas-oil industrial, con un 73,5%, son las que más contribuyen a la contaminación general de la atmósfera. El empleo alternativo de gas natural y carbones y gas-oil desulfurados, harían disminuir drásticamente las emisiones de SO₂.

Polución y salud

En principio, nos enfrentamos a dos problemáticas. Primero, que pese a los numerosos y bien documentados estudios epidemiológicos, las relaciones de causa a efecto entre un contaminante y la salud de una población son muy difíciles de establecer. Y el segundo, es que las decisiones a tomar y las recomendaciones a hacer, en caso de aumento máximo de contaminación no son fáciles. Hay que tomar decisiones drásticas, que en muchos casos se consideran políticamente inaceptables, pero que en un futuro no hay que excluir, como la limitación de la circulación rodada en las grandes urbes.

Es imposible averiguar, para una determinada población, quién ha estado expuesto a qué contaminante, a qué dosis y durante cuánto tiempo. Lo único que puede afirmarse, es la validez de los estudios globales que demuestran una neta correlación entre episodios de contaminación y morbilidad o mortalidad. Pero estos estudios, por muy convincentes que puedan ser, tampoco dicen qué medidas hay que tomar.

Otra problemática, lo constituyen los episodios de contaminación, que se producen en breves periodos de tiempo, con un aumento súbito de contaminantes a

niveles muy superiores a los habituales, y que afectan a gran número de personas, Las primeras observaciones de un episodio de contaminación, se producen en Mosa (Bélgica), provocando 63 muertes y miles de enfermos, en diciembre de 1930, siendo la primera tragedia de la que se tiene constancia. Posteriormente, en Los Ángeles (California, USA), en diciembre de 1944, se realizan las primeras observaciones de la niebla fotoquímica. En Octubre de 1948, en Donora (Pensilvania, USA), la mitad de la población cae enferma y hay 17 víctimas mortales. En Poza Rica (México), en diciembre de 1950, enfermaron cientos de personas por contaminación de lluvia ácida. Especialmente virulento, fue el episodio de Londres, desde noviembre a diciembre de 1948, donde se producen 4.000 muertes, por la llamada niebla mortal. Episodios similares, se repiten en diciembre de 1952, enero de 1956, diciembre de 1957, diciembre de 1962, y en enero de 1963, con 1.000, 750, 225, 700 y otras 700 víctimas mortales, respectivamente. Finalmente, otro episodio reseñable, es el de Nueva York, de enero a febrero de 1963, con 300 muertes registradas.

Un informe del Consejo Superior Francés de Higiene Pública, que ha compilado datos internacionales, demuestra que desde hace veinte años, el asma y las rinitis alérgicas han aumentado regularmente en frecuencia y gravedad, en las principales ciudades de los países industrializados. En Francia, se contabilizan hoy más de dos mil fallecimientos anuales debido al asma (siete diarios), por sólo mil quinientos a comienzo de los años 80.

Numerosos estudios epidemiológicos, demuestran ya sin margen de error, que la contaminación urbana incrementa la mortalidad. El estudio ERPURS (Evaluación de los riesgos de la contaminación urbana para la salud) efectuado en Francia, vincula el aumento del nivel de los humos negros (partículas de origen automovilístico) a un aumento de la mortalidad cardiovascular.

En nuestras investigaciones, financiadas por la Comunidad de Madrid con Proyectos I+D, en colaboración con el Departamento de Transporte de la Escuela de Ingenieros de Caminos, hemos estudiado los ingresos en urgencias (más de 50.000 en la última década) en distintos hospitales de la Red del INSALUD de Madrid, relacionados con procesos de contaminación atmosférica urbana y, que se corresponden con enfermedades cardiorespiratorias como Rinofaringitis, Sinusitis, Faringitis, Amigdalitis, Laringitis, Bronquitis, Rinitis, Neumonías, Enfisema y Asma, realizando un estudio comparativo, con las medidas de concentraciones de contaminantes del aire, de la Red Automática de Prevención de la Contaminación Atmosférica, facilitados por el Excmo. Ayuntamiento de Madrid. Seleccionado como parámetros indicadores de la contaminación atmosférica urbana en la ciudad de Madrid, las concentraciones en el aire de Partículas, SO₂, NO₂ y Óxidos de Nitrógeno, ya que los valores medidos de otros contaminantes como el CO o el Ozono, son muy bajos y no representan un problema significativo en la población, como hemos indicado, sino en episodios concretos, y realizando el tratamiento estadístico correspondiente, se observa que el número medio de ingresos, aumenta con el incremento en las concentraciones de contaminantes.

El tratamiento estadístico Crosstabs, muestra que los ingresos son más elevados, en los niveles más altos de contaminación, aunque la mayor frecuencia de ingresos se produce en los niveles medios de concentración atmosférica de NO_x y en los bajos de partículas, lo que es normal, ya que hay una mayor distribución anual para esos contaminantes en los niveles indicados.

En estos estudios, realizados bajo la dirección de quién les habla, se puede observar por modelos de dispersión, que la causa de ingreso más habitual en estos procesos es la neumonía, pudiendo servir ésta como parámetro de toxicidad.

Por otro lado, en el Departamento de Transporte de la Escuela de Ingenieros de Caminos de la UPM, han establecido que las causas principales de la contaminación en Madrid, son el tráfico rodado y las calefacciones, originándose aquella diariamente en la zona Sur de la Capital y saliendo por la tarde por la Plaza de Castilla, atravesando todo Madrid por el Oeste. Además, los valores de concentración de contaminantes medidos en verano, no son consecuentes con el apagado de calefacciones y la disminución de tráfico propia de esos meses, sobre todo de agosto, por lo que se ha barajado la hipótesis de que existe una contaminación externa a Madrid, probablemente inducida por el vórtice de la Meseta.

Las Organizaciones Internacionales, se vienen preocupando, desde hace años, de los aspectos relacionados con la salud, que provoca la contaminación del aire. La OMS, desde 1957, a raíz de una conferencia en Milán, y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), desde 1965, empezaron a estudiar los efectos de los contaminantes atmosféricos en los seres vivos. La OMS, ha establecido unos parámetros de dosis-respuesta, derivados de estudios epidemiológicos. Así, para SO_2 y partículas, un promedio diario de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reduce la visibilidad y causa molestias, a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se producen trastornos respiratorios y una exposición diaria a $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, produciría un aumento de la mortalidad, especialmente en la población sensible. Los oxidantes fotoquímicos, producen episodios de asma, con exposiciones diarias de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y a dosis promedio entre $390\text{-}1.370 \mu\text{g}/\text{m}^3$, disfunciones pulmonares. Mientras, que el CO, con promedios diarios de 100 ppm, produce carboxihemoglobina.

Aunque, como se deduce de esta exposición, el principal riesgo de la contaminación del aire, para la salud, es el sistema cardiorrespiratorio, actualmente, la comunidad científica, empieza a estar preocupada por los llamados efectos indirectos

de la contaminación del aire, y de la posibilidad, cada vez mas elevada, de contraer cáncer de piel como efecto indirecto de la destrucción del ozono planetario.

Lucha contra la polución

Hacen falta muchos medios y mucho dinero, pero las necesidades económicas de muchos países impiden, al menos de momento, invertir en el restablecimiento del medio natural.

La lucha en el ámbito local contra la contaminación por parte de los ciudadanos también es problemática, ya que si bien actualmente, está bien vista la disputa contra las industrias que contaminan por parte del Estado, de los grupos ecologistas o de particulares que presentan sus demandas, no la es tanto la de la contaminación urbana, ya que como hemos expuesto, supone una serie de sacrificios, como la restricción del tráfico, calefacción y otros medios de bienestar social que hemos alcanzado y que parece que no estamos dispuestos a renunciar. Por tanto, a corto plazo, la batalla contra la polución del aire en el ámbito urbano o local, habrá que librarla en la información ciudadana y en la formación de una conciencia ecológica, utilizando recursos para detectar la contaminación y poder remediarla. En este sentido, el Área de Contaminación Atmosférica del Centro Nacional de Sanidad Ambiental, del Instituto de Salud Carlos III, y el Servicio de Información Medioambiental (SIM) del Ayuntamiento de Madrid, desarrollan actividades de información al público, y asesoramiento sobre calidad del aire a los responsables sanitarios y medioambientales españoles. La EPA (Agencia Estatal del Medioambiente, USA), desde 1997 publica una actualización de los estándares de salud pública para hollín y smog, que protegen de los peligros de la polución del aire. Cada año, estos estándares mejorados previenen 15.000 casos de muertes prematuras; 35.000 casos de asma grave y 1.000.000 de casos de disfunciones pulmonares en niños. Además,

edita publicaciones electrónicas, incluso en castellano, de información general sobre contaminantes atmosféricos y el riesgo para la salud.

Los ciudadanos, aún consideran el problema de la contaminación urbana, más una molestia que una preocupación, y deberíamos estar preocupados, pues a modo de ejemplo, un riguroso estudio sobre seis ciudades, realizado en 1993 por la Universidad de Harvard y cuyos resultados se publicaron en la revista de la Asociación Médica de Estados Unidos, encontró una tasa de muerte prematura en las ciudades más contaminadas del 26% mayor, respecto a las ciudades menos contaminadas, lo que llevó a decir al Dr. C. Arden Pope, uno de los autores, que: "La gente que vive en ciudades altamente contaminadas muere más joven. Así de sencillo".

La Educación Ambiental, debe ser en cualquier caso, una importante herramienta de trabajo, en esta lucha. En Venezuela, el Consejo Nacional para la Educación Ambiental (CONEA), tiene establecidas una serie de estrategias para llevarla a cabo. Las que resultan genéricamente aplicables, son: Analizar y evaluar la aplicación de los contenidos ambientales en los currícula escolares y extraescolares. Establecer formas para sincronizar y coordinar los programas estatales y no estatales de educación ambiental. Promover aulas o talleres de capacitación y evaluación para educadores. Realizar conferencias, cursos, foros y charlas para la concienciación, capacitación y organización de los ciudadanos. Promover actividades y apoyar la creación de ONGs medioambientales. Ayudar a formar y respaldar Centros Regionales de Información y Documentación ambiental. Planificar y coordinar los programas para celebrar el Día Mundial de la Tierra, del Ambiente y del Hábitat. Programar y coordinar conjuntamente con los medios de comunicación, campañas permanentes para la concienciación y participación organizada de los ciudadanos, en asuntos ambientales. Empezar acciones para que las personas asuman "in situ" la clasificación y reciclaje

de los desechos que generan y asesorar en Educación Ambiental a las Comunidades, Alcaldías, Concejos Municipales y Asociaciones comunitarias.

La toma de conciencia de estos problemas desde la infancia, resulta fundamental. En este sentido, cabe destacar la edición para niños de la Agenda 21, titulada "Misión Rescate: Planeta Tierra", editada en varios idiomas, cuyo tercer capítulo, "Lograr que suceda" es muy significativo. En palabras de Boutros Boutros-Ghali, ex secretario General de las Naciones Unidas: "Los niños son las víctimas principales del subdesarrollo y la degradación del medio ambiente. En todos los países del mundo, ricos y pobres, son ellos los primeros en sufrir las consecuencias de la pobreza, la desnutrición, la enfermedad y la contaminación." Por lo tanto, no es simple coincidencia que la Agenda 21 dedique un capítulo a niños y jóvenes, en relación con el tema del desarrollo sostenible, lo cual subraya la necesidad de su participación activa en las cuestiones vinculadas con el medio ambiente.

Acciones importantes de fomento de la Educación Ambiental a nivel mundial, son llevadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en colaboración con la UNESCO. En España, el Centro Nacional de Educación Ambiental (CENEAM), situado en Valsaín (Segovia), es el organismo responsable en este ámbito. El Aula de Naturaleza "El Robledo" del CENAM, es un ejemplo del desarrollo de los programas y actividades en educación ambiental. Puede utilizarla cualquier grupo o colectivo, que pretenda llevar a cabo sus propios proyectos educativos o de conocimiento del medio ambiente.

La participación privada en este tema, también es importante. Las Cajas de Ahorro en general, contribuyen en gran medida en esta tarea a través de sus Centros Educativos del Medio Ambiente. El programa VOLCAM, de la Caja de Ahorros del Mediterráneo es un buen exponente de actividades del voluntariado ambiental

La prevención de la contaminación del aire, como en otros campos, debe ser un factor tan necesario a considerar, como la Educación ambiental o las normativas medioambientales. El objetivo aquí de la prevención, debe ser, sobre todo, reducir la emisión de contaminantes en la fuente de producción, hasta el máximo posible, y reciclar los que se generan. Para ello, se establecen cuatro pasos:

Paso 1: Reducción de la contaminación de la fuente mediante el uso de técnicas, tales como mejor mantenimiento, cambios en el uso de materias primas o instalación de una nueva tecnología.

Paso 2: Reciclaje de los desechos cuando sea posible.

Paso 3: Tratamiento y control.

Paso 4: Disposición adecuada de los desechos.

Las medidas de prevención de contaminación, que pueden reducir la contaminación del aire son: reemplazar o cambiar el combustible o materias primas, empleadas en el proceso de producción; cambiar el proceso; cambiar el equipo; mejorar las prácticas de operación y mantenimiento; y recuperar cualquier emisión al aire.

Un ejemplo de una técnica de prevención de la contaminación sería cambiar el tipo de carbón empleado como combustible en una planta de energía eléctrica. Mientras menor sea el contenido de azufre en el carbón, menor será la emisión de dióxido de azufre. Este hecho, se puede constatar, en la instalación de un proceso de desulfuración en la central térmica de Andorra (Teruel), propiedad de ENDESA. Las primeras pruebas de lavado de gases en la unidad de desulfuración, han constatado que se ha reducido en un 95% la contaminación generada por esta central térmica. La inversión realizada por la empresa en este sistema, ha sido del orden de 25.000 millones de pesetas. Se había responsabilizado a esta central térmica, de la lluvia ácida que devastó las masas forestales de la comarca levantina de Els Ports, y parte

de la turolense de El Maestrazgo. El proceso genera gran cantidad de yeso, que puede ser empleado por empresas constructoras.

Otra herramienta que puede ser eficaz, en la lucha contra la polución, es la de Gestión de Calidad del Aire.

La gestión de la calidad del aire, comprende las actividades relacionadas con la protección y mejoramiento de la calidad del aire y requiere el cumplimiento de las siguientes etapas: Preparación de los criterios de salud ambiental y el establecimiento de normas de calidad del aire. Institución de normas para la emisión de contaminantes de fuentes específicas, y por último, la implementación y operación de sistemas de control.

Para lograr esto, se proponen las siguientes normas nacionales de calidad del aire: Normas para los contaminantes criterio, normas para la operación de nuevas fuentes de emisión de contaminantes y normas para la emisión de contaminantes peligrosos del aire.

Las normas nacionales de calidad del aire para contaminantes criterio, deben especificar los niveles máximos permisibles de un contaminante en una región y se diseñarán para proteger la salud pública y el medio ambiente, de los efectos adversos de la contaminación atmosférica. Las normas para la operación de nuevas fuentes de emisión, deben reflejar la máxima reducción que se puede obtener en la emisión mediante la mejor tecnología disponible, requieren consideraciones de costo y otros factores de operación para su aplicación. Las normas nacionales para la emisión de contaminantes peligrosos del aire, se diseñarán, con el fin de controlar los contaminantes para los cuales no existen normas, o que pueden producir

enfermedades graves irreversibles o reversibles incapacitantes, o puedan contribuir a incrementar la mortalidad.

La gestión en la calidad del aire, requiere unas estrategias de control. Las estrategias de control son las acciones que deben realizarse, a fin de disminuir la contaminación del aire y comprenden las siguientes acciones:

1.-Medición de la calidad del aire y estimación de las condiciones futuras. La medición se lleva a cabo, mediante las redes de vigilancia, y las estimaciones a través del cálculo de la proyección del crecimiento de la población, industria, transporte, economía y modelos de dispersión.

2.-Estimación de los niveles existentes de emisión de las fuentes fijas y móviles, y proyección de los futuros niveles de emisión. Se basa en los inventarios de emisiones de fuentes puntuales y regionales.

3.-Determinación del grado de mejora requerido para cumplir con las normas de calidad del aire. Se compara el nivel actual y futuro de la calidad del aire y la reducción necesaria para cumplir con las normas, que se estima mediante modelos.

4.-Aplicación de medidas de control para diversos tipos de fuentes. Se basa en la tecnología de control disponible y la adopción de sistemas de registro, licencias, verificación e inspección, entre otros.

5.-Desarrollo de planes de contingencia para episodios atmosféricos. Las condiciones meteorológicas adversas pueden provocar situaciones que requieren programas de urgencia.

6.-Negociación con las partes interesadas para la ejecución de acciones en situaciones de urgencia. Se aplica a todas las fuentes para las cuales existen normas de control de emisiones.

7.-Desarrollo de planes a largo plazo para mantener la calidad del aire después de haber cumplido las normas de calidad del aire. Se considera el crecimiento

demográfico e industrial, el cálculo de emisiones esperadas, el desarrollo de procedimientos para instalar emisiones autorizadas que satisfagan las demandas futuras y para continuar el cumplimiento de las normas de calidad del aire.

8.-Ejecución de programas para evitar el deterioro significativo de la calidad del aire. Se refiere principalmente, a regiones en donde el aire es más limpio de lo establecido en las normas nacionales y, a regiones prioritarias en donde la población y el desarrollo industrial son inexistentes o mínimos.

9.-Operación de un sistema de control de la calidad del aire, que se refiera a un sistema continuo de vigilancia de la calidad del aire y de las emisiones. Es necesario para conocer si las fuentes cumplen con las normas y si las estrategias son adecuadas para mantener y mejorar la calidad del aire.

10.-Aplicación de medidas legales y de coercitivas para los infractores de las normas de emisión.

Finalmente, otra estrategia, que da excelentes resultados, es la puesta en marcha de un Plan de Saneamiento Integral. En la Comunidad de Madrid, el Plan de Saneamiento de la Atmósfera, denominado PSAT, tiene como objetivos básicos: Disponer de un sistema óptimo de evaluación de la calidad del aire en todo su territorio, mediante la optimización de los sistemas actuales de vigilancia y control (estaciones remotas, sistemas de almacenamiento y tratamiento de datos y unidad móvil). Incorporación de otros sistemas no disponibles actualmente en esta Comunidad (medidas meteorológicas complementarias y modelos de difusión atmosférica) que permitirán: Medir, calcular, predecir y estimar el nivel en el aire ambiente de cada uno de los contaminantes legislados en toda la Comunidad de Madrid. Conocer la exposición de los distintos receptores de la contaminación atmosférica, es decir, la población, los cultivos y los ecosistemas naturales, a niveles de contaminación que pudieran ser perjudiciales. Disponer de un sistema eficaz de intercambio de información sobre los niveles de contaminación atmosférica con otros

organismos y con el público en general, especialmente en lo que respecta a la superación de umbrales. Estimar, con suficiente precisión, el tipo y la magnitud de las emisiones a la atmósfera procedentes de las principales fuentes de los contaminantes atmosféricos. Estimar las emisiones a la atmósfera procedentes de las principales fuentes de gases invernadero para así poder evaluar el impacto de dichas fuentes con vistas a su futuro control. Y por último, disminuir las emisiones de algunos contaminantes atmosféricos emitidos a la atmósfera en la Comunidad de Madrid, incluyendo los causantes del "efecto invernadero".

Para poner en funcionamiento un Plan, de estas características, es necesario primeramente, realizar un estudio de la legislación vigente y de la de próxima aparición, relacionada con la calidad del aire, analizar la situación actual de contaminación atmosférica, y realizar una evaluación de inversiones y costes, con el objetivo de que el Plan no pierda vigencia en pocos años.

Puesto que en la Comunidad de Madrid, como hemos puesto de manifiesto, el transporte es la principal fuente de contaminación del aire, en el PSAT, se prevé como básico, el control de los vehículos mediante la ITV, que se mejorarán con implantación de sistemas de adquisición de datos. Según, el PSAT, en una primera fase, se instalaría en la ITV de Getafe, única que es propiedad y explota la Comunidad Autónoma de Madrid, un sistema informatizado de captación y elaboración de datos que, conectado a los equipos de medición de CO y de factor lambda (CO_2 , O_2 y HC) de los que dispone la ITV y a los de NO_x y de opacidad que se pudieran instalar en un futuro, permitiera disponer a la Dirección General de Calidad Ambiental de la Comunidad de Madrid, de las bases de datos de los vehículos que realicen su revisión en la ITV de Getafe (aproximadamente un 20% del parque). Desde un punto de vista estadístico, la muestra es plenamente representativa y sobrepasa el "umbral mínimo" requerido para que los datos obtenidos se consideren fiables. Este sistema, se

instalaría posteriormente en las 13 ITVs restantes, cuya gestión corresponde a la Asociación ITV de la Comunidad de Madrid.

Otra actuación importante, contemplada en el PSAT, consiste en la recuperación de los vapores de hidrocarburos generados en las estaciones de servicio, durante las operaciones de descarga de camiones de combustible y de repostado de los vehículos, según se requiere en la Directiva 94/63/CE.

EPÍLOGO

Pero hay unas preguntas que hacer, en el momento actual: ¿Es lícito que la contaminación ambiental, sea el precio que hay que pagar por el desarrollo?. Si la respuesta es afirmativa: ¿Deben soportar las actuales generaciones este precio?.

Los países desarrollados, cuentan actualmente con medios para paliar los efectos de la contaminación y pueden invertir en ello. Pero, ¿es lícito exigir este esfuerzo económico a los países pobres o en desarrollo?.

En muchos países, como es el caso de China, se ha alcanzado un grado de desarrollo apenas soñando por las generaciones anteriores, gracias a un crecimiento económico sostenido. Pero este progreso, ha supuesto la pérdida del aire limpio. La contaminación atmosférica, provocada por los automóviles, las calefacciones y los derivados de las viviendas, hace que no se puedan ver los altos edificios, y que los aerosoles se alojen en los pulmones y causen problemas respiratorios graves. Como dato, se prevé que en cuatro ciudades chinas (Chongqing, Beijing, Shanghai y Shenyang) 10.000 personas hallarán este año una muerte prematura por la exposición a estas partículas.

Estos problemas, aquejan también a otros países pobres o en vías de desarrollo. Sin embargo, aunque la contaminación urbana sigue causando muchos problemas y resulta difícil combatirla, por los hechos ya comentados en esta exposición, por el contrario, muchos países en desarrollo están ganando la lucha contra la contaminación industrial. Las fábricas son ahora más inocuas para el medio ambiente que 10 años atrás y el total de emisiones ha comenzado a disminuir en zonas donde la actividad industrial sigue aumentando rápidamente. Los países en desarrollo, han comenzado a tomar medidas al respecto, porque han decidido que los beneficios del control de la contaminación superan a los costos.

Si es cierto, que la contaminación industrial continúa cobrando su precio en los países en desarrollo, pero no hay motivo para aceptarlo como el precio del progreso. Hay una conciencia social, que obliga a las empresas contaminantes a tomar medidas para su propio control, e incluir como un insumo más, el coste ecológico de la producción.

El economista estadounidense Simón Kuznets postuló que, la desigualdad en los ingresos se acentúa a medida que aumenta el desarrollo y sólo disminuye cuando se acumulan los beneficios del crecimiento. Según esta hipótesis, la contaminación provocada por las fábricas, los vehículos y los hogares aumenta hasta que el desarrollo genera la riqueza suficiente para promover un control considerable de la contaminación. Nunca se ha establecido el punto de inflexión, pero la implicación es que, con otra generación en crecimiento, las condiciones de vida en las ciudades de los países pobres van a ser muy duras. No obstante, la polución del aire en São Paulo, resulta menor que en Los Ángeles, y ésta, es parecida a la de Bombay, aunque sus ingresos sean inferiores. Por ello, hay que ser moderadamente optimistas sobre el futuro de éstas ciudades y de otras, de países en desarrollo.

Sin embargo, hay un problema más. Desde hace tiempo los grupos ecologistas del hemisferio norte, vienen manifestando su preocupación ante el peligro de que los países pobres se conviertan en “refugios” para la contaminación. Esta preocupación se empieza a notar a principios de los años setenta, cuando los países desarrollados, comenzaron a imponer a las industrias, controles de la contaminación cada vez más rigurosos y la mayor parte de los países en desarrollo, todavía no habían puesto en marcha reglamentación alguna. Sin embargo, estos “refugios” no han prosperado, debido a una estabilización entre importaciones y exportaciones, en los países a los que se trasladaron las industrias contaminantes, y a una regulación acertada de la normativa contra la contaminación.

La mayoría de los ciudadanos, demandan que el peso de la lucha contra la polución, sea llevada por el Estado, que debe tomar nuevas medidas para luchar contra la contaminación y una mayor inversión en temas ecológicos. El problema, es que también se le demanda al Estado una mayor inversión en otros campos, que afectan al Estado del Bienestar, como la Salud o la Educación. Por tanto, el Estado, debe estudiar con todo cuidado si se justifican los gastos ecológicos, sobre todo en países con recursos limitados. Sin embargo, cada vez hay más conciencia en las autoridades medioambientales de los países, que al analizar los costos y beneficios del control de la contaminación, son partidarias de incrementar la regulación y la inversión. Quizás, algún día, se pueda cambiar el Estado del Bienestar, por el Estado Ambiental.

En China, Xu y col., en 1994 (Xu, X., J. Gao, D. Dockery, and Y. Chen, 1994, “Air Pollution and Daily Mortality in Residential Areas of Beijing, China,” *Archives of Environmental Health*, Vol. 49, No. 4, 216–22), han evaluado los costos y beneficios, calculando la relación entre contaminación atmosférica y mortalidad, provocada por enfermedades respiratorias en Beijing. Del análisis, se desprende que eliminando

anualmente 100 toneladas de SO₂ de la atmósfera de Beijing podría salvarse una “vida estadística”. Considerando que eliminar una tonelada de SO₂, que costaría unos US\$3, resulta muy barato, ¿porqué no hacerlo?.

En Occidente, los organismos ambientales normalmente utilizan un valor de US\$1.000.000, de acuerdo con estudios del Banco Mundial, como mínimo, para evaluar el beneficio social derivado de salvar una vida, gracias a la limitación de la contaminación. En Beijing, sólo cuesta US\$300 salvar una vida reduciendo 100 toneladas de SO₂. Según el parámetro occidental, la relación implícita costos-beneficios (1.000.000/300) es de más de 3.000:1. Esta opción económica de control de la contaminación, puede resultar muy interesante para salvar vidas en las grandes ciudades de los países en desarrollo.

Los países en desarrollo, no tienen que estar destinados a ser el vertedero ambiental del mundo. En China, la contaminación atmosférica ha permanecido estable o ha disminuido en el último decenio, a pesar del aumento de los ingresos. Sin embargo, los análisis de costos-beneficios llevados a cabo en Asia y América Latina señalan que los daños provocados por la contaminación, siguen siendo injustificadamente graves, en vista del bajo costo que supone reducirla. Es preciso actuar en tres frentes: la reforma normativa, la reforma de la política económica y la gestión de las cuestiones ambientales dentro de las fábricas.

Ninguna especie en este Planeta ha progresado tanto como el ser humano. Estemos orgullosos de ello, pero reconozcamos lo que la Naturaleza nos ha dado y reconciliémonos con Ella, no sea que tome y acepte nuestro reto.

He dicho.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (1969) Urban air pollution with particular reference to motor vehicles. Report of a WHP Expert Committee. *World Health Organ Tech. Rep. Ser.*, **410**, 5-53.
- [2] (1978) Urban and industrial air pollution in Houston. *Atmos. Environ.*, **12**, 963-964.
- [3] (1980) Air quality in selected urban areas 1977-1978. WHO Collaborating Centre on Environmental Pollution Control, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. *WHO Offset Publ.*, 1-71.
- [4] (1983) Air quality in selected urban areas 1979-1980. WHO Collaborating Centre on Environmental Pollution Control, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC. *WHO Offset Publ.*, 1-57.
- [5] Andre,P.A., Braga,A.L., Lin,C.A., Conceicao,G.M., Pereira,L.A., Miraglia,S.G., & Bohm,G.M. (2000) Environmental epidemiology applied to urban atmospheric pollution: a contribution from the experimental air pollution laboratory (LPAE). *Cad. Saude Publica*, **16**, 619-628.
- [6] Antipenko,E.N. & Alekssenko,P.L. (1992) [The evaluation of the mutagenic hazard of atmospheric air pollution for an urban population]. *Vestn. Ross. Akad. Med. Nauk*, 36-39.
- [7] Antypenko,I.M., Kohut,N.M., & Oleksienko,P.L. (1992) [Attempt at quantitative estimation of genetic effects of chemical pollution of atmospheric air in urban populations]. *Tsitol. Genet.*, **26**, 7-10.
- [8] Arnold,G. & Edgerley,E. (1967) Urban development in air pollution basins: an appeal to the planners for help. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **17**, 235-237.
- [9] Aubry,F., Gibbs,G.W., & Becklake,M.R. (1979) Air pollution and health in three urban communities. *Arch. Environ. Health*, **34**, 360-368.
- [10] Ayres,S.M. & Buehler,M.E. (1970) The effects of urban air pollution on health. *Clin. Pharmacol. Ther.*, **11**, 337-371.
- [11] Bailie,R.S., Pilotto,L.S., Ehrlich,R.I., Mbuli,S., Truter,R., & Terblanche,P. (1999) Poor urban environments: use of paraffin and other fuels as sources of indoor air pollution. *J. Epidemiol. Community Health*, **53**, 585-586.
- [12] Benarie,M.M. (1975) Calculation of the mean yearly mixing height over urban areas, from air pollution data. *Sci. Total Environ.*, **3**, 259-265.
- [13] Bergstrom,R.W. (1972) Predictions of the spectral absorption and extinction coefficients of an urban air pollution aerosol model. *Atmos. Environ.*, **6**, 247-258.
- [14] Bisanti,L. (1995) [Urban air pollution and mortality: a review of the literature]. *Epidemiol. Prev.*, **19**, 13-21.
- [15] Boizis,N., Blancard,A., & Sautet,G. (1965) [Variations in microbial pollution of the air at the level of the "towers" of modern urban blocks in Marseilles]. *Bull. Acad. Natl. Med.*, **149**, 570-572.
- [16] Bostrom,C.E., Almen,J., Steen,B., & Westerholm,R. (1994) Human exposure to urban air pollution. *Environ. Health Perspect.*, **102 Suppl 4**, 39-47.
- [17] Bouquiaux,J., Derouane,A., & Verduyn,G. (1975) [Air pollution caused by traffic sources in the Brussels urban area]. *Arch. Belg. Med. Soc.*, **33**, 1-12.

- [18] Briggs,D.J., de Hoogh,C., Gulliver,J., Wills,J., Elliott,P., Kingham,S., & Smallbone,K. (2000) A regression-based method for mapping traffic-related air pollution: application and testing in four contrasting urban environments. *Sci. Total Environ.*, **253**, 151-167.
- [19] Burnett,R.T., Cakmak,S., & Brook,J.R. (1998) The effect of the urban ambient air pollution mix on daily mortality rates in 11 Canadian cities. *Can. J. Public Health*, **89**, 152-156.
- [20] Carnow,B.W. (1978) The "urban factor" and lung cancer: cigarette smoking or air pollution? *Environ. Health Perspect.*, **22**, 17-21.
- [21] Cassell,E.J., Lebowitz,M., & McCarroll,J.R. (1972) The relationship between air pollution, weather, and symptoms in an urban population. Clarification of conflicting findings. *Am. Rev. Respir. Dis.*, **106**, 677-683.
- [22] Chatterjee,B.B., Patel,T.S., & Raiyani,C.V. (1985) An analysis of characteristics of urban air pollution over a four year period (1978-1981). *Indian J. Public Health*, **29**, 226-231.
- [23] Crebelli,R. (1989) Monitoring of urban air pollution by mutagenicity assays. *Ann. Ist. Super. Sanita*, **25**, 591-594.
- [24] Cury,P.M., Lichtenfels,A.J., Reymao,M.S., Conceicao,G.M., Capelozzi,V.L., & Saldiva,P.H. (2000) Urban levels of air pollution modifies the progression of urethane-induced lung tumours in mice. *Pathol. Res. Pract.*, **196**, 627-633.
- [25] D'Amato,G. (1999) Outdoor air pollution in urban areas and allergic respiratory diseases. *Monaldi Arch. Chest Dis.*, **54**, 470-474.
- [26] D'Amato,G. (2000) Urban air pollution and plant-derived respiratory allergy. *Clin. Exp. Allergy*, **30**, 628-636.
- [27] D'Innocenzio,F., Cerquiglini,M.S., Cecchetti,G., Bonanni,D., & Ziemacki,G. (1978) [Lead air pollution in urban and industrial areas of Italy]. *Ann. Ist. Super. Sanita*, **14**, 513-521.
- [28] Davidson,B. (1967) A summary of the New York urban air pollution dynamics research program. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **17**, 154-158.
- [29] Deleanu,M. & Lenghel,I. (1979) Morbidity due to cardiovascular disease in relation to the urban air pollution. *Sante Publique (Bucur.)*, **22**, 155-168.
- [30] Djuricic,S. & Plamenac,P. (1999) [The effect of sex factors on cytologic changes in the sputum of young adults exposed to urban air pollution]. *Srp. Arh. Celok. Lek.*, **127**, 16-20.
- [31] Dutt,D., Srinivasa,D.K., Rotti,S.B., Sahai,A., & Konar,D. (1996) Effect of indoor air pollution on the respiratory system of women using different fuels for cooking in an urban slum of Pondicherry. *Natl. Med. J. India*, **9**, 113-117.
- [32] Elliott,S.J., Cole,D.C., Krueger,P., Voorberg,N., & Wakefield,S. (1999) The power of perception: health risk attributed to air pollution in an urban industrial neighbourhood. *Risk Anal.*, **19**, 621-634.
- [33] Emik,L.O., Plata,R.L., Campbell,K.I., & Clarke,G.L. (1971) Biological effects of urban air pollution: Riverside summary. *Arch. Environ. Health*, **23**, 335-342.
- [34] Femi-Pearse,D., Adeniyi-Jones,A., & Oke,a. (1973) Respiratory symptoms and their relationship to cigarette-smoking, dusty occupations and domestic air pollution: studies in random sample of an urban African population. *West Afr. Med. J. Niger. Med. Dent. Pract.*, **22**, 57-63.

- [35] Ferrand,C., Balsco,P., Kuhn,A., Repetto,M., Lazaro,J., & Garcia,S.D. (1975) [Air pollution in Sevilla (Spring and Summer 1974) Study of ammonia as an urban pollutant]. *Rev. Sanid. Hig. Publica (Madr.)*, **49**, 141-158.
- [36] Ford,A.B. & Bialik,O. (1980) Air pollution and urban factors in relation to cancer mortality. *Arch. Environ. Health*, **35**, 350-359.
- [37] Gardner,M.B. (1966) Biological effects of urban air pollution. 3. Lung tumors in mice. *Arch. Environ. Health*, **12**, 305-313.
- [38] Garty,J., Kauppi,M., & Kauppi,A. (1997) The Influence of Air Pollution on the Concentration of Airborne Elements and on the Production of Stress-Ethylene in the Lichen *Usnea hirta*(L.) Weber em. Mot. Transplanted in Urban Sites in Oulu, N. Finland. *Arch. Environ. Contam Toxicol.*, **32**, 285-290.
- [39] Georgiadis,P. & Kyrtopoulos,S.A. (1999) Molecular epidemiological approaches to the study of the genotoxic effects of urban air pollution. *Mutat. Res.*, **428**, 91-98.
- [40] Georgii,H.W. (1969) The effects of air pollution on urban climates. *Bull. World Health Organ*, **40**, 624-635.
- [41] Gervais,P. (1976) [Prevention of urban air pollution]. *Rev. Prat.*, **26**, 2345-2351.
- [42] Gifford,F.A. & Hanna,S.R. (1973) Modelling urban air pollution. *Atmos. Environ.*, **7**, 131-136.
- [43] Goldsmith,J.R. (1980) The "urban factor" in cancer: smoking, industrial exposures, and air pollution as possible explanations. *J. Environ. Pathol. Toxicol.*, **3**, 205-217.
- [44] Granville,G.C., Gephart,L.A., & Keefe,R.T. (1998) Urban air pollution and mortality. *Can. J. Public Health*, **89**, 228, 238, 240.
- [45] Gulisano,M., Marceddu,S., Barbaro,A., Pacini,A., Buiatti,E., Martini,A., & Pacini,P. (1997) Damage to the nasopharyngeal mucosa induced by current levels of urban air pollution: a field study in lambs. *Eur. Respir. J.*, **10**, 567-572.
- [46] Hameed,S. (1974) Modelling urban air pollution. *Atmos. Environ.*, **8**, 555-561.
- [47] He,Q.C., Liou,P.J., Wilson,W.E., & Chapman,R.S. (1993) Effects of air pollution on children's pulmonary function in urban and suburban areas of Wuhan, People's Republic of China. *Arch. Environ. Health*, **48**, 382-391.
- [48] Iakovlev,A.N. (1991) [Results of a study of the pollution of urban air by lead and benzo(a)pyrene emitted by motor transport]. *Gig. Sanit.*, 9-12.
- [49] Jedrychowski,W. (1983) Interaction of smoking and urban air pollution in the etiology of lung cancer. *Neoplasma*, **30**, 603-609.
- [50] Juliard,J.M. (1997) [Urban air pollution and cardiovascular disease]. *Allerg. Immunol. (Paris)*, **29**, 244-246.
- [51] Kanner,R.E. (1998) Urban air pollution: why is it a health problem? *Chest*, **113**, 1161-1162.
- [52] Kelly,I. & Clancy,L. (1984) Mortality in a general hospital and urban air pollution. *Ir. Med. J.*, **77**, 322-324.
- [53] Kendler,J. & Donagi,A. (1970) [Motor vehicles as a source of urban air pollution]. *Harefuah*, **78**, 289-294.

- [54] Khesina,A.I., Krivosheeva,L.V., Sokol'skaia,N.N., & Koliadich,M.N. (1996) [Urban air pollution by carcinogenic N-nitrosamines]. *Vestn. Ross. Akad. Med. Nauk*, 25-28.
- [55] Khesina,A.Y. (1994) Urban air pollution by carcinogenic and genotoxic polyaromatic hydrocarbons in the former USSR. *Environ. Health Perspect.*, **102 Suppl 4**, 49-53.
- [56] Kim,M.H., Kwon,S.P., & Yoon,M.C. (1967) Studies of air pollution and noise in urban Korea. *Yonsei Med. J.*, **8**, 40-52.
- [57] Knudsen,L.E., Norppa,H., Gamborg,M.O., Nielsen,P.S., Okkels,H., Soll-Johanning,H., Raffn,E., Jarventaus,H., & Autrup,H. (1999) Chromosomal aberrations in humans induced by urban air pollution: influence of DNA repair and polymorphisms of glutathione S-transferase M1 and N-acetyltransferase 2. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.*, **8**, 303-310.
- [58] Kramer,U., Koch,T., Ranft,U., Ring,J., & Behrendt,H. (2000) Traffic-related air pollution is associated with atopy in children living in urban areas. *Epidemiology*, **11**, 64-70.
- [59] Krupnick,A.J. & Portney,P.R. (1991) Controlling urban air pollution: a benefit-cost assessment. *Science*, **252**, 522-528.
- [60] Lawther,P.J. & Waller,R.E. (1978) Trends in urban air pollution in the United Kingdom in relation to lung cancer mortality. *Environ. Health Perspect.*, **22**, 71-73.
- [61] Leahey,D.M. (1972) An advective model for predicting air pollution within an urban heat island with applications to New York City. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **22**, 548-550.
- [62] Lebowitz,M.D., Cassell,E.J., & McCarroll,J.R. (1972) Health and the urban environment. XVI. An attempt to predict the incidence of common cold in a healthy urban population from the variation in air pollution and meteorology. *Environ. Lett.*, **3**, 25-32.
- [63] Lebowitz,M.D., Cassell,E.J., & McCarroll,J.D. (1972) Health and the urban environment. XV. Acute respiratory episodes as reactions by sensitive individuals to air pollution and weather. *Environ. Res.*, **5**, 135-141.
- [64] Leduc,E.C. (1968) The socio-political characteristics of urban governments engaged in air pollution control activities. *J. Air Pollut. Control Assoc.*, **18**, 733-737.
- [65] Lemos,M., Lichtenfels,A.J., Amaro,J.E., Macchione,M., Martins,M.A., King,M., Bohm,G.M., & Saldiva,P.H. (1994) Quantitative pathology of nasal passages in rats exposed to urban levels of air pollution. *Environ. Res.*, **66**, 87-95.
- [66] Lende,R., Huygen,C., Jansen-Koster,E.J., Knijpstra,S., Peset,R., Visser,B.F., Wolfs,E.H., & Orié,N.G. (1975) A temporary decrease in the ventilatory function of an urban population during an acute increase in air pollution. *Bull. Physiopathol. Respir. (Nancy.)*, **11**, 31-43.
- [67] Linn,W.S., Hackney,J.D., Pedersen,E.E., Breisacher,P., Patterson,J.V., Mulry,C.A., & Coyle,J.F. (1976) Respiratory function and symptoms in urban office workers in relation to oxidant air pollution exposure. *Am. Rev. Respir. Dis.*, **114**, 477-483.
- [68] Liu,M.K. & Seinfeld,J.H. (1975) On the validity of grid and trajectory models of urban air pollution. *Atmos. Environ.*, **9**, 555-574.
- [69] Lodovici,M., Akpan,V., Casalini,C., Zappa,C., & Dolara,P. (1998) Polycyclic aromatic hydrocarbons in *Laurus nobilis* leaves as a measure of air pollution in urban and rural sites of Tuscany. *Chemosphere*, **36**, 1703-1712.

- [70] Mammarella,L. & D'Arca,S.U. (1967) [Relation between the air-borne bacteria count and dust pollution in open areas of a large urban center. (Studies for several seasons with daily observations)]. *Med. Lav.*, **58**, 113-121.
- [71] Mammarella,L. & Monteriolo,C.S. (1970) [Behavior of winter air pollution in an urban area of Rome]. *Nuovi. Ann. Ig Microbiol.*, **21**, 275-289.
- [72] Martinovic,J., Nikolic,P., Adasevic,V., Dograjic,N., Gajic,M., & Radivojevic,S. (1985) [Urban air pollution as an etiologic factor in the development of chronic bronchitis]. *Srp. Arh. Celok. Lek.*, **113**, 41-53.
- [73] McCarroll,J., Cassell,E.J., Wolter,D.W., Mountain,J.D., Diamond,J.R., & Mountain,I.M. (1967) Health and the urban environment. V. Air pollution and illness in a normal urban population. *Arch. Environ. Health*, **14**, 178-184.
- [74] Medina,S., Dab,W., Quenel,P., Ferry,R., & Festy,B. (1996) Urban air pollution is still a public health problem in Paris. *World Health Forum*, **17**, 187-193.
- [75] Menichini,E. (1992) Urban air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons: levels and sources of variability. *Sci. Total Environ.*, **116**, 109-135.
- [76] Mitchell,R.S., Judson,F.N., Moulding,T.S., Weiser,P., Brock,L.L., Kelble,D.L., & Pollard,J. (1979) Health effects of urban air pollution. Special consideration of areas at 1,500 m and above. *JAMA*, **242**, 1163-1168.
- [77] Mose,J.R., Fischer,G., & Brantner,H. (1969) [Studies of air pollution in the Graz area. IV. The significance of increased fluorine excretion in urine as a standard for the exposure of urban population to fluorine immissions]. *Arch. Hyg. Bakteriol.*, **153**, 234-238.
- [78] Mostardi,R.A., Ely,D.L., Liebelt,A., Grossman,S., & Fu,M.M. (1981) Inducibility of aryl hydrocarbon hydroxylase in BALB/c/ki mice exposed to urban air pollution. *J. Toxicol. Environ. Health* , **7**, 809-815.
- [79] Mountain,I.M., Cassell,E.J., Wolter,D.W., Mountain,J.D., Diamond,J.R., & McCarroll,J.R. (1968) Health and the urban environment. VII. Air pollution and disease symptoms in a "normal" population. *Arch. Environ. Health*, **17**, 343-352.
- [80] Mura,M.C., Hernandez,E., Valero,F., Martin,F., & Fuselli,S. (1992) [Models and strategies for the control of air pollution in large urban areas]. *Ann. Ist. Super. Sanita*, **28**, 579-587.
- [81] Nakajima,T., Azuma,E., Hashimoto,M., Toyoshima,K., Hayashida,M., & Komachi,Y. (1998) [Factors aggravating bronchial asthma in urban children (I)--The involvement of indoor air pollution]. *Nippon Koshu Eisei Zasshi*, **45**, 407-422.
- [82] Nielsen,P.S., Okkels,H., Sigsgaard,T., Kyrtopoulos,S., & Autrup,H. (1996) Exposure to urban and rural air pollution: DNA and protein adducts and effect of glutathione-S-transferase genotype on adduct levels. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, **68**, 170-176.
- [83] Nyberg,F., Gustavsson,P., Jarup,L., Bellander,T., Berglund,N., Jakobsson,R., & Pershagen,G. (2000) Urban air pollution and lung cancer in Stockholm. *Epidemiology*, **11**, 487-495.
- [84] Oyanguren,H., Donoso,H., Prieto,L., Vargas,S., & Paz,S. (1972) [Prevalence of chronic bronchitis in an urban and a rural area of Santiago and its relation to the degree of air pollution]. *Rev. Med. Chil.*, **100**, 101-105.

- [85] Palmgren,F., Berkowicz,R., Ziv,A., & Hertel,O. (1999) Actual car fleet emissions estimated from urban air quality measurements and street pollution models. *Sci. Total Environ.*, **235**, 101-109.
- [86] Peng,W.X., Ledingham,K.W., Singhal,R.P., & McCanny,T. (1998) Urban air pollution monitoring: laser-based procedure for the detection of carbon monoxide gas. *Analyst*, **123**, 1035-1039.
- [87] Pereira,P., Saldiva,P.H., Sakae,R.S., Bohm,G.M., & Martins,M.A. (1995) Urban levels of air pollution increase lung responsiveness in rats. *Environ. Res.*, **69**, 96-101.
- [88] Poli,P., Buschini,A., Campanini,N., Vettori,M.V., Cassoni,F., Cattani,S., & Rossi,C. (1992) Urban air pollution: use of different mutagenicity assays to evaluate environmental genetic hazard. *Mutat. Res.*, **298**, 113-123.
- [89] Policard,A. (1967) [Apropos of urban air pollution]. *Presse Med.*, **75**, 787-788.
- [90] Polosa,R. (1999) Prevalence of atopy and urban air pollution: dirty business. *Clin. Exp. Allergy*, **29**, 1439-1441.
- [91] Prescott,G.J., Cohen,G.R., Elton,R.A., Fowkes,F.G., & Agius,R.M. (1998) Urban air pollution and cardiopulmonary ill health: a 14.5 year time series study. *Occup. Environ. Med.*, **55**, 697-704.
- [92] Procianoy,R.S., Da Costa,M.L., & Schwartsman,S. (1976) [Influence of urban air pollution on DDT blood levels in children]. *Bol. Med. Hosp. Infant Mex.*, **33**, 1247-1250.
- [93] Reymao,M.S., Cury,P.M., Lichtenfels,A.J., Lemos,M., Battlehner,C.N., Conceicao,G.M., Capelozzi,V.L., Montes,G.S., Junior,M.F., Martins,M.A., Bohm,G.M., & Saldiva,P.H. (1997) Urban air pollution enhances the formation of urethane-induced lung tumors in mice. *Environ. Res.*, **74**, 150-158.
- [94] Romieu,I., Weitzenfeld,H., & Finkelman,J. (1990) Urban air pollution in Latin America and the Caribbean: health perspectives. *World Health Stat. Q.*, **43**, 153-167.
- [95] Rosenfeld,D. (2000) Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, **287**, 1793-1796.
- [96] Sakai,H., Sasaki,T., & Saito,K. (1988) Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution. *Sci. Total Environ.*, **77**, 163-174.
- [97] Saldiva,P.H., King,M., Delmonte,V.L., Macchione,M., Parada,M.A., Daliberto,M.L., Sakae,R.S., Criado,P.M., Silveira,P.L., Zin,W.A., & . (1992) Respiratory alterations due to urban air pollution: an experimental study in rats. *Environ. Res.*, **57**, 19-33.
- [98] Saldiva,P.H. (1998) Air pollution in urban areas: the role of automotive emissions as a public health problem. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, **2**, 868.
- [99] Saric,M., Fugas,M., & Hrustic,O. (1981) Effects of urban air pollution on school-age children. *Arch. Environ. Health*, **36**, 101-108.
- [100] Sawicki,E., Stanley,T.W., & Elbert,W.C. (1965) Analysis of the urban atmosphere and air pollution source effluents for phenalen-1-one and 7 H-benz (de)anthracen-7-one. *Mikrochim. Ichnoanal. Acta*, 1110-1123.
- [101] Sawicki,E., Stanley,T.W., & Elbert,W.C. (1967) Comparison of fluorimetric methods of assay for benz(c)acridine and benzo(h)quinoline in urban atmospheres and air pollution source effluents. *J. Chromatogr.*, **26**, 72-78.

- [102] Saylor,L.F. (1971) Air pollution, health effects and urban growth. *Calif. Med.*, **115**, 106-107.
- [103] Schwela,D. (2000) Air pollution and health in urban areas. *Rev. Environ. Health*, **15**, 13-42.
- [104] Seaton,A. (1996) Particles in the air: the enigma of urban air pollution. *J. R. Soc. Med.*, **89**, 604-607.
- [105] Segala,C. (1999) Health effects of urban outdoor air pollution in children. Current epidemiological data. *Pediatr. Pulmonol. Suppl*, **18**, 6-8.
- [106] Sharma,V. (1976) An area-source model for urban air pollution applications. *Atmos. Environ.*, **10**, 1027-1032.
- [107] Shefer,D. (1994) Congestion, air pollution, and road fatalities in urban areas. *Accid. Anal. Prev.*, **26**, 501-509.
- [108] Shephard,R.J. (1984) Athletic performance and urban air pollution. *Can. Med. Assoc. J.*, **131**, 105-109.
- [109] Souza,M.B., Saldiva,P.H., Pope,C.A., & Capelozzi,V.L. (1998) Respiratory changes due to long-term exposure to urban levels of air pollution: a histopathologic study in humans. *Chest*, **113**, 1312-1318.
- [110] Sterling,T.D., Phair,J.J., Pollack,S.V., Schumsky,D.A., & DeGroot,I. (1966) Urban morbidity and air pollution. A first report. *Arch. Environ. Health*, **13**, 158-170.
- [111] Sterling,T.D., Pollack,S.V., & Phair,J.J. (1967) Urban hospital morbidity and air pollution. A second report. *Arch. Environ. Health*, **15**, 362-374.
- [112] Sterling,T.D., Pollack,S.V., & Weinkam,J. (1969) Measuring the effect of air pollution on urban morbidity. *Arch. Environ. Health*, **18**, 485-494.
- [113] Stupfel,M. (1976) [Urban air pollution]. *Rev. Prat.*, **26**, 2331-2336.
- [114] Sunyer,J., Anto,J.M., Murillo,C., & Saez,M. (1991) Effects of urban air pollution on emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease. *Am. J. Epidemiol.*, **134**, 277-286.
- [115] Sunyer,J., Spix,C., Quenel,P., Ponce-de-Leon,A., Ponka,A., Barumandzadeh,T., Touloumi,G., Bacharova,L., Wojtyniak,B., Vonk,J., Bisanti,L., Schwartz,J., & Katsouyanni,K. (1997) Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the APHEA Project. *Thorax*, **52**, 760-765.
- [116] Sunyer,J., Schwartz,J., Tobias,A., Macfarlane,D., Garcia,J., & Anto,J.M. (2000) Patients with chronic obstructive pulmonary disease are at increased risk of death associated with urban particle air pollution: a case- crossover analysis. *Am. J. Epidemiol.*, **151**, 50-56.
- [117] Swann,H.E., Brunol,D., Wayne,L.G., & Balchum,O.J. (1965) Biological effects of urban air pollution. II. Chronic exposure of guinea pigs. *Arch. Environ. Health*, **11**, 765-769.
- [118] Swann,H.E. & Balchum,O.J. (1966) Biological effects of urban air pollution. IV. Effects of acute smog episodes on respiration of guinea pigs. *Arch. Environ. Health*, **12**, 698-704.
- [119] Thompson,D.J., Lebowitz,M., Cassell,E.J., Wolter,D., & McCarroll,J. (1970) Health and the urban environment. 8. Air pollution, weather, and the common cold. *Am. J. Public Health Nations. Health*, **60**, 731-739.

- [120] Tornqvist,M. & Ehrenberg,L. (1992) Risk assessment of urban air pollution. *Pharmacogenetics*, **2**, 297-303.
- [121] Tornqvist,M. & Ehrenberg,L. (1994) On cancer risk estimation of urban air pollution. *Environ. Health Perspect.*, **102 Suppl 4**, 173-182.
- [122] Truhaut,R. (1989) [Toxicologic and ecotoxicologic problems posed by air pollution in urban environments]. *Bull. Acad. Natl. Med.*, **173**, 447-475.
- [123] Vaintsvaig,P.M. & Abil'mazhinova,B.A. (1978) [Bacterial air pollution and the frequency of detecting hemolytic streptococci in the contents of the throat of the rural and urban inhabitants of Semipalatinsk Province, Kazakh SSR]. *Gig. Sanit.*, 81-82.
- [124] van der,Z.S., Hoek,G., Boezen,H.M., Schouten,J.P., van Wijnen,J.H., & Brunekreef,B. (1999) Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms. *Occup. Environ. Med.*, **56**, 802-812.
- [125] Vigotti,M.A., Rossi,G., Bisanti,L., Zanobetti,A., & Schwartz,J. (1996) Short term effects of urban air pollution on respiratory health in Milan, Italy, 1980-89. *J. Epidemiol. Community Health*, **50 Suppl 1**, s71-s75.
- [126] Vigotti,M.A. (1999) [Short-term effects of exposure to urban air pollution on human health in Europe. The APHEA Projects (Air Pollution and Health: a European Approach)]. *Epidemiol. Prev.*, **23**, 408-415.
- [127] Voisin,C. (1989) [Urban air pollution and respiratory health: the stakes involved and methods of approach]. *Bull. Acad. Natl. Med.*, **173**, 437-445.
- [128] Wayne,L.G. & Chambers,L.A. (1968) Biological effects of urban air pollution. V. A study of effects of Los Angeles atmosphere on laboratory rodents. *Arch. Environ. Health*, **16**, 871-885.
- [129] Weiss,W. (1978) Lung cancer mortality and urban air pollution. *Am. J. Public Health*, **68**, 773-775.
- [130] Wietlisbach,V., Pope,C.A., & Ackermann-Lieblich,U. (1996) Air pollution and daily mortality in three Swiss urban areas. *Soz. Praventivmed.*, **41**, 107-115.
- [131] Winkelstein,W. & Kantor,S. (1969) Respiratory symptoms and air pollution in an urban population of northeastern United States. *Arch. Environ. Health*, **18**, 760-767.
- [132] Winthrop,S.O. (1971) Air pollution in the urban environment. *Occup. Health Rev.*, **22**, 26-35.
- [133] Wojtyniak,B., Krzyzanowski,M., & Jedrychowski,W. (1984) Importance of urban air pollution in chronic respiratory problems. *Z. Erkr. Atmungsorgane.*, **163**, 274-284.
- [134] Wojtyniak,B. & Piekarski,T. (1996) Short term effect of air pollution on mortality in Polish urban populations--what is different? *J. Epidemiol. Community Health*, **50 Suppl 1**, S36-S41.
- [135] Zaridze,D.G. & Zemlianaia,G.M. (1990) [Atmospheric air pollution and the incidence of lung cancer among urban population]. *Gig. Sanit.*, 4-7.
- [136] Zweig,R.M. (1974) Letter: Sources of urban air pollution. *N. Engl. J. Med.*, **290**, 1265.