

1. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES.

La definición acordada en la ley 38/72 de Protección del Medio Ambiente Atmosférico califica esta contaminación como la aparición en el aire de alguna sustancia (sólida, líquida o gaseosa) en cantidades anormales que cause efectos dañinos



DIBUJO 1. *Emisión de contaminantes.*

en el medio o la alteración de los valores normales de los constituyentes atmosféricos.

Según el origen de la emisión se pueden clasificar en naturales (volcanes, fermentación en pantanos...) o antropogénicos (industrias, tráfico, calefacciones...).

Por otro lado se pueden clasificar también en primarios o secundarios. Los contaminantes primarios son los que aparecen por simple emisión. Los secundarios en cambio, aparecen por

diferentes reacciones químicas entre contaminantes que hacen que contaminantes primarios sean eliminados o transformados bajo la influencia de la luz solar, agua u otras sustancias en fase líquida o sólida. La concentración de un contaminante secundario en un lugar concreto se determina como inmisión.

Para calcular la eficiencia de los mecanismos de eliminación de los gases se utiliza el término tiempo de residencia o vida media. El alcance espacial depende del mismo siendo pequeño cuando el impacto llega solo a nivel regional y alto cuando alcanza la escala global.

Cuando se habla de consecuencias hay que tener en cuenta los efectos sinérgicos, es decir, los efectos que causa la presencia de varios contaminantes en la atmosférica que reaccionan entre si y agravan los efectos. Por ello, estos efectos no se pueden calcular sumando por separado los efectos derivados de cada contaminante. Este es el caso del dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno que por separado no producen daños pero en conjunto (con la misma concentración) dañan a las especies vegetales más sensibles.

Es después de la era industrial cuando la contaminación atmosférica ha adquirido una dimensión planetaria y amenaza hoy en día con cambios climáticos, alteraciones de ciclos biogeoquímicos y pone en peligro la salud de poblaciones.

2. CONTAMINANTES PRINCIPALES: ORIGEN Y EFECTOS.

Principalmente se pueden encontrar:

- Aerosoles:

Partículas sólidas y líquidas

- Gases:

Monóxido y dióxido de carbono, dióxido y trióxido de azufre, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, óxido nitroso, amoniaco, metano y ozono.

Por otro lado podemos encontrar otras sustancias que aparecen mas raramente pero causan importantes efectos:

- Metales pesados y compuestos de los mismos: plomo, cromo, cobre, manganeso, níquel, mercurio, arsénico, cadmio...
- Compuestos y derivados del cloro, flúor, bromo y yodo.
- Compuestos orgánicos volátiles.

2.1. Óxidos de carbono.

Dentro de este grupo el CO es el que más daños provoca sobre la salud del ser humano. Aparece como resultado de la oxidación deficiente de los átomos de carbono de las combustiones fósiles.

Otro contaminante de importancia es el dióxido de carbono (CO₂). Esta presente en la atmósfera de forma natural y condiciona la vida en el planeta puesto que posibilita la fotosíntesis de las plantas y el clima actual. Aun así si aumentase su concentración podría causar cambios en el clima porque perturba el balance energético entre la tierra y la atmósfera que provoca el calentamiento de la superficie terrestre y el cambio climático. Suele aparecer en procesos para conseguir energía a partir de petróleo, carbón o sus derivados.

2.2. Compuestos de azufre.

El dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3) son los más relevantes aunque también existen otros compuestos reducidos de azufre como el mercaptano o el ácido sulfhídrico. Sus focos antropogénicos son los combustibles y algunos procesos industriales como por ejemplo el refinado de petróleo o la producción de ácido sulfhídrico. Por otro lado las fuentes naturales son los volcanes.

Una vez que estos gases son libres en la atmósfera provocan la lluvia ácida cuando entran en contacto con gotas de agua. La presencia de los óxidos de azufre bien sea en estado líquido o gaseoso causan efectos perjudiciales en la vía respiratoria de las personas, corroe materiales y provoca el enfriamiento de la troposfera e escalas regionales.

2.3. Compuestos de nitrógeno.

Los principales son óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) surgen durante las combustiones de nitrógeno que puede aparecer como componente del combustible o en el aire que permanece en contacto con la llama. Otras fuentes son las plantas de producción de ácido nítrico, vidrio, fertilizantes empresas siderúrgicas etc. debido a que se producen a la vez son difíciles de separar analíticamente, se suelen mencionar utilizando la abreviatura NO_x .

Intervienen en la formación de lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno en concentraciones altas causa efectos perjudiciales en el sistema respiratorio.

Otro óxido de nitrógeno importante es el óxido nitroso (N_2O) que interviene en reacciones químicas de la estratosfera y es importante también para el equilibrio radiactivo de la atmósfera. Sus fuentes naturales son las bacterias de los suelos, océanos y estuarios.

El amoníaco (NH_3) es otro compuesto inorgánico reducido de nitrógeno que está en la atmósfera en cantidades significativas. Se produce en procesos bacterianos y actividades ganaderas interviniendo en procesos de acidificación.

2.4. Compuestos orgánicos.

El más sencillo es el metano (CH_4) las fuentes humanas más relevantes son el tráfico, la industria química, el refinado del petróleo, la distribución y almacenamiento de gas, gasolinas y disolventes y la producción de energía; pues en todas las combustiones

parecen ciertos compuestos orgánicos. Por otro lado las emisiones naturales provienen de pantanos o arrozales, los terpenos de los pinos etc.

Muchos de estos compuestos están considerados dañinos por su influencia en el equilibrio radiactivo de la tierra. La concentración de estos en el aire se denomina COV, Compuestos Orgánicos Volátiles.

2.5. Metales pesados.

Son partículas diminutas de óxido de los metales correspondientes, (cinc, manganeso, arsénico, plomo, mercurio...) se generan en fundiciones, acerías, minerías, incineración de residuos...Las consecuencias que causan estos metales dependen del tipo al que pertenezcan y de los mecanismos de eliminación que dispongan los ecosistemas y los organismos. Normalmente, son bioacumulables, es decir, se quedan fijados en los organismos y van pasando de ser a ser acumulándose a lo largo de la cadena trófica.

2.6. Ozono.

Es un gas que se puede encontrar en estado natural en la atmósfera y puede ser beneficioso o perjudicial según la zona en la que se encuentra, puede encontrarse en la troposfera o en la estratosfera.

En el primer caso se denomina ozono troposférico. Está en la troposfera, la parte inferior de la atmósfera terrestre, la más próxima a la superficie y donde se localiza el aire que respiramos (hasta aproximadamente unos 15 km de altura). En este caso, un aumento de la concentración de ozono puede ser perjudicial.

Penetra por las vías respiratorias y debido a sus propiedades altamente oxidantes provoca la irritación de las mucosas y los tejidos pulmonares. Los principales efectos observados son: irritación de los ojos, tos, dolor de cabeza, dolores en el pecho, etc. Pudiendo llegar, cuando las concentraciones son muy elevadas, a provocar inflamaciones pulmonares afectando gravemente a la función respiratoria.

Las personas que más riesgo corren son aquellas con alguna enfermedad pulmonar, entre las que se encuentran los asmáticos (enfermedad muy extendida en primavera debido a las reacciones alérgicas). En general, afecta principalmente a aquellas personas que realizan ejercicio físico al aire libre. Debido a que, las reacciones que producen el ozono se activan por la acción de la luz solar, las horas en que la

concentración de ozono en el aire es más alta son aquellas que van desde el medio día hasta el anochecer.

Por otro lado también funciona como oxidante de enzimas, proteínas o todo tipo de ácidos grasos en cualquier sustancia que las contenga.

Pero, el ozono no sólo es perjudicial para el hombre, también lo es para el resto de los seres vivos. Por ejemplo, es altamente tóxico para las plantas. Afecta a las paredes celulares, disminuye la actividad fotosintética y perjudica su crecimiento, provocando una disminución de la vegetación natural y de la producción agrícola.

En el segundo caso, se denomina ozono estratosférico. Se localiza en la estratosfera, zona de la atmósfera situada por encima de la troposfera, aproximadamente entre unos 15 km y unos 50 km de altura. En este caso, el ozono, actúa como un filtro que detiene parte de la radiación ultravioleta que nos llega del sol y que puede resultar perjudicial para nuestra salud. Por tanto, una disminución de los niveles de ozono en esta capa de la atmósfera, lo que se conoce como el agujero de la capa de ozono, es un fenómeno que puede resultar preocupante, especialmente en la Antártida que en estos últimos quince años ha adelgazado disminuyendo su calidad como filtro, y puede causar un aumento de los cánceres de piel entre otros efectos.

El ozono se genera a partir de la reacción de otros contaminantes, los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Como se forman por reacción fotoquímica, los mayores niveles de contaminación por ozono se registran en días soleados sobretodo en primavera y verano.

2.7. Partículas.

Naturalmente se generan por la erosión de los suelos a causa del viento, los océanos (cloruro), la vegetación, los volcanes... Pueden ser partículas sólidas (polvo, hollín, polen, cadmio...) y gotitas de sustancias químicas ácido sulfúrico, petróleo, dioxinas, plaguicidas... suspendidas en el aire. Su foco antropogénico son actividades industriales donde existan la trituración de material (extracción de minerales a cielo abierto, cementeras etc.), el tráfico rodado, la combustión de combustibles... Las características físicas, químicas y de peligrosidad de todas ellas dependen de su origen y su tipología es muy extensa.

Es uno de los contaminantes atmosféricos que más repercuten en la salud del ser humano junto al ozono troposférico. Se encuentran en las capas bajas de la atmósfera

(entre los 0 y los 17 kilómetros.). Su peligrosidad depende también del tamaño de las partículas, cuanto más pequeñas son, más fácilmente penetran en el organismo humano, las de un diámetro de menos de 10 micrómetros, a las que se les llama PM10, pueden acceder a la parte superior del tracto respiratorio, y las de menos de 2,5 micrómetros, o PM2,5, pueden llegar hasta los pulmones. La OMS recomienda un límite de 10 microgramos PM2,5 por metro cúbico y de 20 microgramos por metro cúbico de PM10, para el ozono en cambio recomienda un valor medio de 100 microgramos por metro cúbico. Son niveles alcanzables, en España el valor está establecido en 50 microgramos por metro cúbico para las partículas, pero aun así hay muchos días en los que se supera el valor límite. El foco de contaminación en estas en las ciudades españolas son en un 60% generadas por el tráfico.

Las partículas no solo influyen en el sistema respiratorio sino que también dificultan la visibilidad, la vida de la vegetación, tienen efectos sobre el clima y deterioran bienes materiales como monumentos y obras de arte.

2.8. Compuestos halogenados.

Son derivados del flúor (F₂), cloro (Cl₂), bromo (Br₂) e iodo (I₂). Su estructura es químicamente simple aunque pesticidas organoclorados, cloroformo, tetracloruro de carbono, tetrafluoruro de silicio, percloroetileno, clorofluorocarbonos...tienen una estructura más compleja. Aparecen cuando se fabrica acero, aluminio y vidrio, en las industrias químicas, incineradoras de residuos y otras muchas industrias.

Estos compuestos, sobre todo los clorofluorocarbonos (CFC) que se utilizan en la fabricación de espumas y aislantes (como fluidos refrigerantes y propelentes en aerosoles), afectan a las hojas y al metabolismo del calcio de los hombres y animales y también afectan al calentamiento global ya que absorben la radiación terrestre de onda larga.

3. EFECTOS CAUSADOS POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

Un efecto se define como un cambio perjudicial observable a causa de algún contaminante del aire. Puede afectar a la salud de los seres humanos, a la de las plantas y a los animales, pero también pueden afectar a seres no vivos como pinturas, metales y telas.

3.1. En la salud de los seres humanos.

Los efectos pueden ser agudos o crónicos.

Los agudos son efectos inmediatos pero que solo se presentan a corto plazo, son reversibles en cuanto cesa la exposición al contaminante. Los más comunes son la irritación de los ojos, el dolor de cabeza y las náuseas.

Los efectos crónicos tardan en aparecer pero duran definitivamente y suelen ser irreversibles, así como la disminución de la capacidad pulmonar o el cáncer de pulmón que suelen aparecer tras largos periodos de tiempo de exposición a contaminantes tóxicos como el asbesto y el berilio.

El sistema más perjudicado de nuestro organismo es el respiratorio. Cuando inhalamos el aire es la nariz el sistema filtrante primario, los pelos y las condiciones tal como calor y humedad eliminan de forma eficaz las más grandes de las partículas contaminantes. Luego el aire pasa por la faringe y la laringe para llegar a la parte superior de la tráquea dividida después en bronquio derecho e izquierdo los cuales se subdividen también en bronquiolos y pequeñas bolsas de aire llamadas alvéolos.

Son todos estos los que componen los pulmones, zona más afectada del aparato tanto por contaminantes gaseosos como particulados.

Las partículas se pueden impregnar en las paredes de la tráquea, bronquios y bronquiolos, pero la mayoría de estas se eliminan de los pulmones mediante la acción de limpieza o barrido que efectúan los cilios, esto es lo que ocurre cuando tosemos o estornudamos y salen a la boca. Pero existe también otra posibilidad y es que las partículas más pequeñas pueden llegar a los alvéolos donde pueden pasas semanas meses o incluso años hasta que el cuerpo las elimine.

Respecto a los contaminantes gaseosos también perjudican a los pulmones disminuyendo la acción de los cilios, lo que provoca que mientras la respiración de aire contaminado continúa no se cumpla como es debida la función de limpieza normal lo que ocasiona que más partículas lleguen a partes inferiores de los pulmones. Todos estos efectos sobre los pulmones traen consigo otras consecuencias pues siendo estos los responsables de absorber el oxígeno del aire y de expulsar el dióxido de carbono a la sangre, el daño causado a los pulmones puede imposibilitar este proceso contribuyendo a la aparición de enfermedades respiratorias como la bronquitis, la enfisema (agrandamiento de los bronquiolos con la destrucción de la pared alveolar con o sin

fibrosis manifiesta.) y el cáncer. También puede afectar el corazón y el sistema circulatorio.

Y no sólo son los contaminantes al aire libre peligrosos sino también los de los interiores pues se debe tener en cuenta que es allí donde pasamos prácticamente el 90% del tiempo. Hay muchos tipos de contaminantes interiores: el humo de los artefactos, chimeneas y cigarrillos, contaminantes orgánicos de las pinturas, colorantes, limpiadores, materiales de construcción, y el radón. (Ver **TABLA 1**)

El radón aparece de forma natural, es incoloro e inodoro, peor es radiactivo y causa efectos importantes sobre la salud pues es el segundo factor que produce cáncer de pulmón. Aun así es también sencilla la manera de reducir los niveles de este ventilando los interiores para dejar circular el aire.

Otro de los contaminantes más peligrosos nombrado también anteriormente es el

Contaminante	Principales fuentes
COMPUESTOS QUÍMICOS	
NO _x	Estufas a parafina, cocinas a gas, etc.
CO	HTA, combustibles de calefacción y cocina, infiltración de exteriores
SO ₂	Estufas a parafina, calefactores a leña o gas, etc
O ₃	Fotocopiadoras, impresoras láser, ozonizadores, infiltración de exteriores, etc.
COV _s	Materiales de construcción (pegamentos, paneles, aislantes, etc.), HTA, hornos a gas, sistemas de aire acondicionado, infiltración de exteriores, estufas a parafina, productos de limpieza, etc.
Fibras	Materiales de construcción, etc.
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Combustibles de calefacción y cocina, HTA, infiltración de exteriores, etc.
Metales	Pinturas (Pb), baterías (Pb,Cd), PVC (Cd), aparatos eléctricos (Hg), polvo exterior, etc.
Pesticidas	Uso de termicidas, insecticidas, fungicidas
Material particulado	Combustión en interiores, HTA, infiltración de exteriores, etc.
Humo de tabaco ambiental	Combustión de tabaco
AGENTES FÍSICOS	
Radiaciones	Artefactos electrónicos
Calor	Sistemas de combustión y artefactos eléctricos
AGENTES BIOLÓGICOS	
Bacterias	Sistemas de aire acondicionado, mascotas, plantas de interiores, aguas estancadas, etc.
Virus	
Hongos	

TABLA 1. *Contaminantes interiores.*

ozono que afecta al sistema respiratorio provocando tos, irritación de garganta, reducción de la función respiratoria y por tanto aumento del ritmo respiratorio,

agravación del asma, incremento del riesgo para sufrir infecciones respiratorias y inflamación e incluso daño del tejido pulmonar.

Habría que incluir en la misma lista el CO dada la tendencia que tiene a unirse con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina (COHb). Esta tendencia hace que disminuya la capacidad de transportar oxígeno dado que el CO no se vuelve a separar de la hemoglobina para que esta pueda unirse y transportar el oxígeno a las células. Esto conlleva a un aumento del ritmo cardiaco para compensar la pérdida de oxígeno en sangre. (Ver **GRAFICO 2**)

La cantidad de este contaminante en sangre depende de la concentración que haya en el ambiente, la duración de la exposición, la temperatura y el estado de salud y el metabolismo de cada individuo.

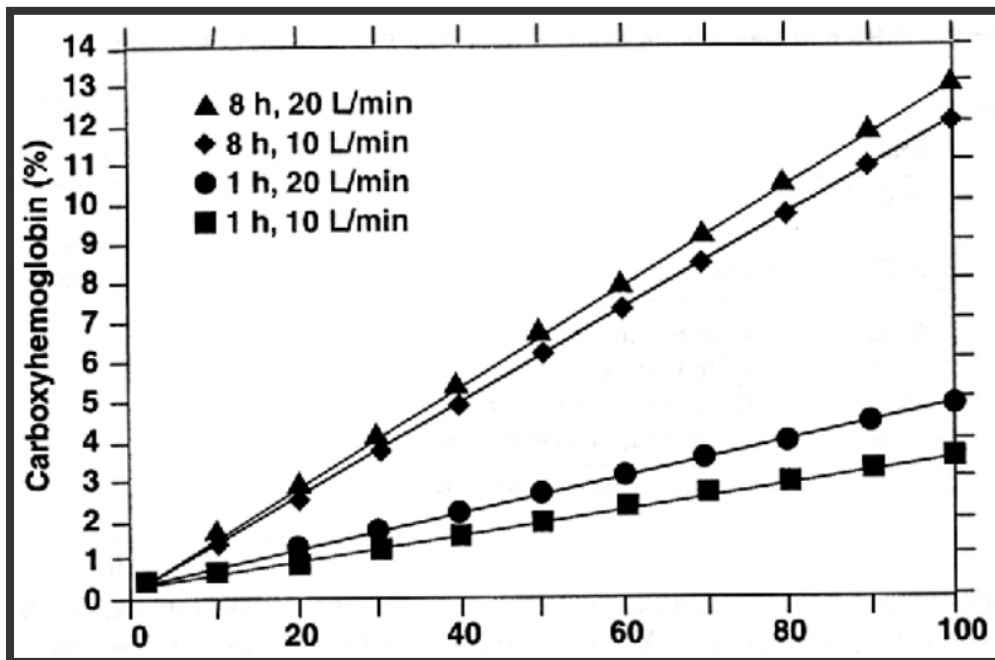


GRAFICO 2. Concentración de carboxihemoglobina en sangre.

El proceso de eliminación del CO de nuestro organismo es lento y puede mantenerse de 2 a 6,5 horas almacenándose principalmente en el sistema vascular causando a partir de valores del 6% arritmias en personas con problemas en la arteria coronaria, mayor mortalidad en individuos con problemas cardiovasculares y efectos neurológicos (debidos también a la falta de oxígeno). (Ver **GRÁFICO 2** y **TABLA 2**)

I. <u>Niveles de COHb</u>	II. <u>Efectos</u>
0-1%	Ninguno
2,5%	Pérdida de discriminación de intervalo temporal
3%	Cambios en los umbrales de brillo.
4,5%	Incremento del tiempo de reacción a estímulos visuales
10%	Cambios en la destreza de conducción
10-20%	Dolores de cabeza, fatiga, pérdida de coordinación

TABLA 2. *Efectos neurológicos del CO.*

Las cantidades de SO₂ que llega a los pulmones son menores, sólo el 1% alcanza los alvéolos. Los efectos causados por este contaminante produce cambios en la función mecánica de las vías superiores, bronquitis crónica, estrechamiento de las vías aéreas de los asmáticos o incluso de las personas normales y alteraciones en los mecanismos de defensa de los pulmones.

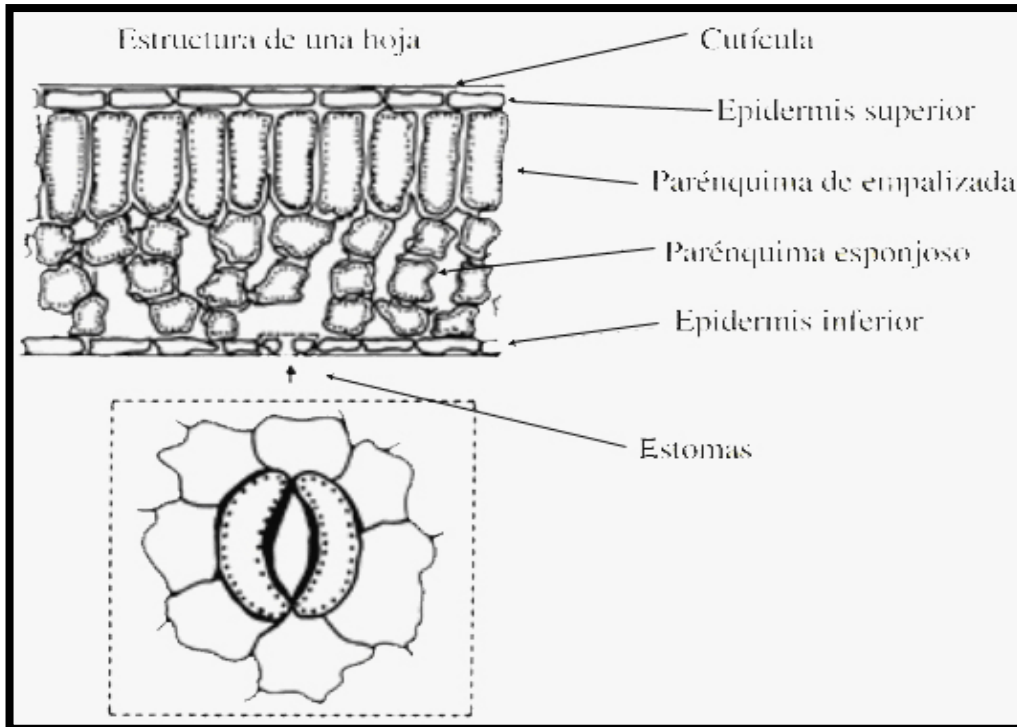
La elevada exposición a NO₂ puede acarrear por su parte el desarrollo de edema pulmonar, incremento del efecto de enfermedades patógenas, destrucción de tejido pulmonar, destrucción de cilios, obstrucción de bronquiólos y variaciones en el tejido alveolar. No se han detectado efectos relacionados con la exposición a concentraciones usuales.

El plomo que llega a nosotros a través de la ingesta de alimentos, agua o respiración de partículas, el cuerpo lo elimina con dificultades y lo va acumulando en sangre, tejidos blandos y huesos. Las exposiciones agudas a este metal pueden producir cólicos, shocks, anemia severa, daños en el riñón, daños irreparables en el cerebro e incluso la muerte. Las exposiciones crónicas pueden producir además de estos daños algunos en el sistema nervioso también.

3.2. En las plantas.

La contaminación atmosférica afecta de diferente manera las diferentes partes de la estructura de las hojas.

La epidermis superior es una capa monoestratificada de células vivas en el haz de la hoja. Presenta pocos estomas, es transparente y sus funciones son de protección, mantenimiento de la forma y el permitir el paso de la luz hacia el interior de la hoja. No tiene cloroplastos y está recubierta de cutícula por fuera. (Ver **ESQUEMA 1**)



El parénquima en empalizada está formado por dos o tres capas de células alargadas y ricas en cloroplastos.

ESQUEMA 1. Estructura de una hoja.

El parénquima esponjoso forma junto con el de en empalizada, el mesófilo. Está formado por células

El parénquima en empalizada está formado por dos o tres capas de células alargadas y ricas en cloroplastos. Posee pocos espacios intercelulares, también llamada clorénquima.

El parénquima esponjoso forma junto con el de en empalizada, el mesófilo. Está

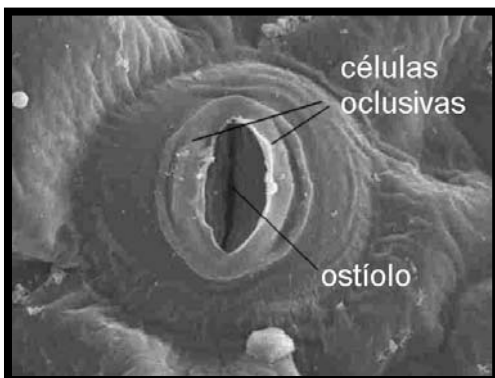


FOTO 6. Estoma.

formado por células irregulares que dejan grandes espacios intercelulares entre ellas. Estos espacios permiten la circulación de los gases y se comunican con el ambiente a través de los ostiolos de los estomas. También posee clorofila, aunque en menor cantidad.

La epidermis inferior está en el envés de la hoja y su estructura es como la de la epidermis superior solo que presenta más

estomas. (Ver **FOTO 6**). Los estomas se encargan de hacer intercambios gaseosos

y de regula transpiración. Están regularmente repartidos por toda a la epidermis. Y constan de ostíolo que es el orificio mediante el que se hace el intercambio gaseoso. Dicho orificio esta delimitado por dos células arriñonadas clorofílicas denominadas células oclusivas.

Las funciones de la hoja (fotosíntesis, transpiración y respiración) requieren del paso de gases como CO_2 y H_2O y junto con estos pasan también contaminantes mediante los estomas o las raíces.

Los daños a las plantas se pueden clasificar en visibles y no visibles.

Los visibles son los que alteran la apariencia normal de las hojas: color y estructura celular en las diferentes capas. Estos dos cambios se producen por el colapso del tejido o necrosis y la pérdida del color. La necrosis se da al dañarse el parénquima tanto el esponjoso como el de empalizada, la hoja aparece muy descolorida y pierde partes del tejido, aparecen agujeros. Cuando se decolora en cambio simplemente pierde cloroplastos, a este proceso se le llaman clorosis.

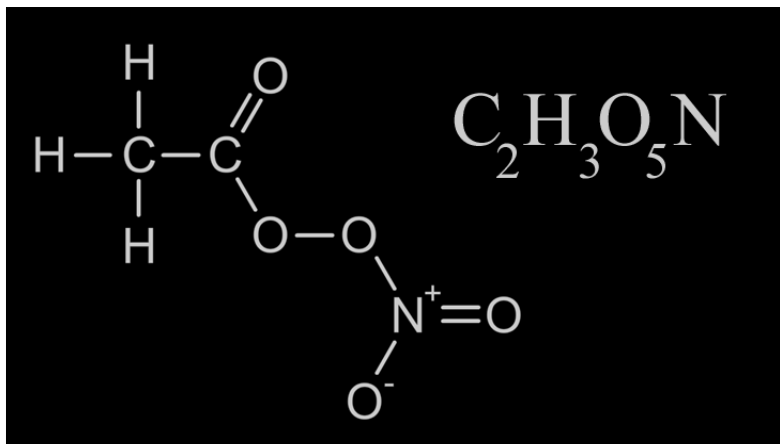
Por otro lado están el vidriado o glazing y el punteado o flecking cuando se trata de daños a la epidermis.

Concretando más en los daños que causa cada contaminante sabemos que el SO_2 afecta al tejido mesófilo de las plantas produciendo manchas blancas, rojas marrones o negras dependiendo de la especie, se extiende por las dos caras de la hoja y afecta mayormente a hojas jóvenes. (Ver **FOTO 7**)



FOTO 7. *Daños causados por el SO_2*

Desde 1970 se están investigando los efectos que causa el ozono sobre los cultivos, árboles y todo tipo de vegetación llegando a la conclusión de que este es tóxico para las plantas. Repercute en el ciclo de l crecimiento de estas y produce el llamado punteado, aunque solo en la cara superior de las hojas, debido a la muerte del



ESQUEMA 2. Diagrama de una molécula de PAN.

parénquima y manchas blancas cobrizas o amarillas, es muy común en las hojas de los pinos.

El PAN (Ver **ESQUEMA 2**), contaminante formado a

partir de la reacción del NO_2 con compuestos orgánicos volátiles, afecta al mesófilo esponjoso colapsando los estomas por lo que se forman grandes bolsas de aire responsables del aspecto vidrioso. Es más tóxico que el ozono para las plantas, puede dañar las plantas sensibles como la petunia, el tomate o la lechuga en pocas horas aunque la concentración sea baja.

El flúor llega a la planta mediante las estomas que lo captan en estado gaseoso o

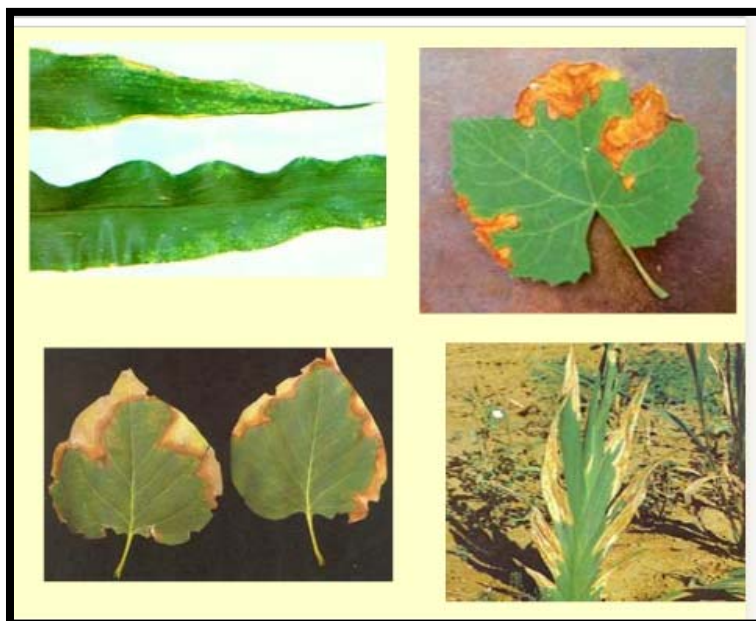


FOTO 8. Daños causados por el flúor

a través de las partículas que aparecen sobre la hoja. De cualquiera de las maneras llega al sistema vascular de la planta y se acaba acumulando en la punta y en los bordes de la hoja. (Ver **FOTO 8**)

Por último también tenemos el etileno que es bastante corriente en las atmósferas urbanas dado que se crea en la

combustión de la gasolina. Pero no solo en las combustiones, también la crean las frutas de manera natural para madurar que es su función, en cantidades anormales en cambio tiende a pudrir los frutos es por eso también que se dice que una manzana podrida pudre el resto del cesto, lo hace mediante emisión de etileno.

3.3. En la fauna.

Como ya se ha comentado antes la contaminación atmosférica produce problemas respiratorios en las personas sometidas a altos niveles de ésta y por las mismas razones los animales domésticos también acaban siendo afectados y presentan problemas de salud parecidos.

El contaminante que más afecta a la fauna, o el más estudiado al menos, es el flúor y sus derivados. La mayor parte de la contaminación por éste se debe a la ingestión de forrajes contaminados. Por tanto los animales más perjudicados son los que pastan forraje cerca de plantas de fertilizantes fosfatados, y fundiciones de aluminio y en otras industrias como: ácido fosfórico, vidrio, aceros...

Es verdad también que el flúor se encuentra de forma natural en el suelo, agua, la vegetación y en los tejidos de los animales pero aunque en cantidades pequeñas puede ser beneficioso es en grandes cantidades cuando aparecen efectos dañinos.

La enfermedad causada por el flúor se conoce como fluorosis que puede ser aguda o crónica. La aguda apenas se observa en animales pero la crónica sí que se ha detectado en cabañas que han comido forrajes con alto contenido en flúor durante un tiempo prolongado. El flúor afecta al metabolismo normal del calcio por lo que los cambios aparecen en dentadura y esqueleto.

La fluorosis dental ocurre en la época de formación de los dientes y suele dar



FOTO 9. *Fluorosis dental.*

lugar a un esmalte moteado, esto ocurre debido a un defecto en la matriz del esmalte o la deficiencia del mismo llegando incluso a obstruir el proceso de calcificación de la matriz en casos de mayor exposición al contaminante. Puede ir desde un moteado blanco en el esmalte, a áreas opacas blancas que afectan a la superficie dental, aparición de pequeñas fosas y color pardo hasta una apariencia corroída. Un

animal afectado por esta enfermedad tiene una menor capacidad de alimentarse pues mastica peor. (Ver **FOTO 9**)

La fluorosis esquelética se manifiesta con dolores esporádicos, endurecimiento de las articulaciones, osteoesclerosis de la pelvis y la columna, pasando por dolores articulares crónicos, síntomas artríticos, calcificación de ligamentos, osteoesclerosis agravada, con o sin osteoporosis de los huesos largos hasta producir en la fase avanzada

severa limitación de los movimientos articulares, calcificación de ligamentos del cuello, columna vertebral, deformidades invalidantes de la columna y articulaciones principales, compresión de la médula espinal y defectos neurológicos.

3.4. En los materiales.

Los contaminantes gaseosos y las partículas afectan a los materiales en construcción como el hierro, piedra, pinturas, caucho...

Los efectos sobre los monumentos antiguos empiezan a ser preocupantes en Europa pues muchas veces las pérdidas suelen ser irreversibles. Estos pueden ser físicos o químicos. Los mecanismos físicos perjudiciales son el desgaste por partículas o el efecto pasivo de la deposición de partículas secas o en disolución que químicamente deteriora también el material así como el aire contaminado al reaccionar con el material.

La corrosión es otro de los problemas que aparecen en los metales ferrosos como el acero, zinc, acero galvanizado, compuestos del cobre, níquel y aluminio a causa del SO_2 y las partículas.

Metales como zinc que se utilizan para proteger al acero son atacados también por el SO_2 cuando hay humedad. El cobre reacciona con el SO_x y forma una pegatina verde que es sulfato de cobre y se suele ver sobre elementos de cobre y estatuas de bronce que son tan comunes en muchas ciudades europeas.

Por otro lado en materiales de construcción suele ser bastante evidente la suciedad de los edificios causada por la contaminación. La gran parte de esta suciedad la provocan los humos del tráfico de automóviles, calefacciones...Este problema es relativamente fácil de solucionar mediante los procesos de desgaste con arena a presión que aunque son caros limpian las fachadas fácilmente.

El ataque químico ya suele ser más difícil de solucionar, los materiales a base de carbonato cálcico como el mármol o la caliza reaccionan con el ácido sulfúrico para dar yeso. Esto ocurre en los poros y las fisuras que tiene la roca y al tener el yeso mayor volumen hace de cuña y rompe la roca.

Los compuestos de azufre pueden también producir daños en pinturas plásticas, papel, fibras textiles y en los contactos eléctricos de los sistemas electrónicos..

Los oxidantes fotoquímicos causan rápido envejecimiento y agrietamiento en cauchos y elastómeros y los óxidos de nitrógeno decoloran y estropean las fibras textiles.

3.5. En la visibilidad.

La presencia de ciertos contaminantes produce la absorción y la dispersión de la luz solar reduciendo así la visibilidad.

Una experiencia realizada en Suecia, ha demostrado que los períodos de mínima visibilidad se corresponden con concentraciones máximas de sulfatos y nitratos presentes en la atmósfera.

Los gases presentes normalmente en la atmósfera no absorben la luz visible. El NO_2 en concentraciones altas puede absorber la franja azul-verde del espectro visible de la luz solar. Es por eso que la atmósfera de las grandes ciudades adquiere una coloración amarilla-parduzca-rojiza cuando se presentan concentraciones de NO_2 elevadas. Esto ha dado lugar a problemas relacionados con la seguridad de la operación de los aviones y la destrucción de paisajes naturales. Por ejemplo, la visibilidad del Gran Cañón en los Estados Unidos ha sido afectada por la contaminación del aire generada por el hombre a cientos de kilómetros de distancia.

3.6. Lluvia ácida.

La lluvia ácida es causada por una reacción química que comienza cuando compuestos tales como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno salen al aire como

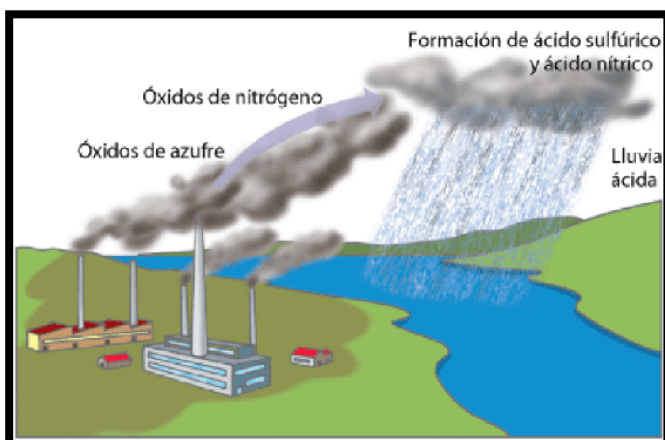


GRÁFICO 3. *Formación de la lluvia ácida.*

resultado de la combustión de fósiles como el carbón y el petróleo (Ver **GRÁFICO 3**). Los grandes responsables por lo tanto son: Las centrales de energía eléctrica, las calderas industriales, los vehículos motorizados y las calefacciones domésticas. Estos gases pueden alcanzar niveles muy altos de la atmósfera, en donde se

mezclan y reaccionan con agua, oxígeno y otras sustancias químicas, con ayuda de la luz solar, y forman más contaminantes ácidos, como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) y el nítrico (H_2NO_3).

Estos nuevos contaminantes se disuelven en el vapor de agua y forman las nubes acidificadas y es mediante éstas cuando los contaminantes pueden viajar largas distancias no contaminando ya solo las áreas más industrializadas sino también

cualquier otra área. Estas nubes producen la llamada deposición húmeda, pero las precipitaciones ácidas pueden ser también a modo de deposición seca que ocurre cuando los óxidos vertidos, transformados o no, retornan a la superficie de la tierra (suelos o aguas) en forma de gases y partículas, esto suele ocurrir cerca de las fuentes de emisión.

Este tipo de contaminación provoca la acidificación de las aguas continentales y los suelos no solo disminuyendo el pH de la lluvia, que pasa de 5.6 a 4,6, lo que implica que su acidez incrementa 10 veces sino en las reacciones que ello provoca.

Las aguas excesivamente ácidas de lagos y arroyos contienen mayor concentración de metales pesados tóxicos como el aluminio, el mercurio, el manganeso, el plomo y el cinc, el primero muy abundante en el suelo y en las rocas. La presencia de estos metales resulta letal para los organismos acuáticos, mayormente para los peces.

Las zonas más sensibles son las que presentan poca capacidad para neutralizar el exceso de ácidos, como los terrenos graníticos y arenosos, las zonas con sustratos de cal y de basalto en cambio son más resistentes.

El suelo también puede llegar a acidificarse pero más lentamente, los que tienen humus sobre todo, pues este contiene componentes químicos alcalinos neutralizantes.

Un exceso de acidez en las precipitaciones también provoca la pérdida de nutrientes básicos para los vegetales como el calcio, el magnesio, el potasio y el aluminio causando daños en las raíces y la pérdida de vitalidad en los vegetales haciéndolos susceptibles a todo tipo de enfermedades y plagas, a las heladas y daños invernales y a otros contaminantes. Esto se puede manifestar en pérdida de productividad.

Sin embargo en los suelos forestales el daño es mucho más importante. La lluvia ácida empapa el suelo y puede disolver los nutrientes, tales como el magnesio y el calcio, que los árboles necesitan para mantenerse sanos. La lluvia ácida también permite que el aluminio se escape al suelo, lo cual hace difícil que los árboles puedan absorber agua.

Los árboles que se hallan en regiones montañosas muy elevadas, tales como abetos, corren mucho más riesgo porque están expuestos a las nubes y la niebla ácidas, con mucha más acidez que la lluvia o la nieve a nivel del mar. Las nubes y la niebla ácidas disuelven los nutrientes importantes que los árboles tienen en sus hojas y agujas. Esta pérdida de nutrientes disminuye la resistencia de los árboles y los bosques a los daños causados por infecciones e insectos, y también por el frío del invierno.

4. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN EUSKADI.

El problema de la contaminación atmosférica en la Comunidad Autónoma del País Vasco ha sido de gran importancia a lo largo del último siglo debido a la concentración espacial de las industrias y al carácter de la industrialización. En una zona especialmente pequeña han convivido muchas actividades contaminantes, como la siderurgia, la generación de energía eléctrica, el refino de petróleo, la fabricación de cemento, industria papelera, vidrieras, fundiciones o industria química en general.

Sin embargo, las fuentes de contaminación no han estado limitadas a la actividad industrial. La alta concentración de población en algunas zonas implica la existencia de emisiones importantes derivadas de las calefacciones o el tráfico de vehículos a motor.

4.1. Evolución de las emisiones en los distintos sectores. (Ver TABLA 3)

	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Sector energético	98,3	125,3	204,2	193,0	174,7	174,2
Industria	-16,7	-25,1	-27,7	-26,0	-30,4	-26,1
Transporte	85,5	92,6	101,7	109,3	123,6	110,0
Residencial	34,1	46,9	49,6	23,3	23,5	39,4
Servicios	64,0	81,6	83,4	68,4	70,8	97,0
Agricultura	4,0	2,9	1,5	-0,9	-24,2	-26,5
Residuos	9,7	10,7	13,6	11,3	8,6	7,9
Energía eléctrica importada	8,1	-4,8	-56,3	-47,6	-32,0	-50,7
Sector energético + energía eléctrica importada	42,0	44,1	41,6	42,8	45,7	33,8
TOTAL CAPV	22,9	22,2	21,7	22,5	22,5	18,5

TABLA 3. *Índice de evolución de emisiones de GEIs por sectores.*

4.1.1. El sector energético.

En el 2008 las emisiones de este sector (incluyendo las derivadas de la electricidad importada) disminuyeron un 8% respecto a 2007, y contribuyeron al 42% de las emisiones de GEIs (gases efecto invernadero) totales. Respecto a 1990 las emisiones han aumentado un 34%.

El descenso del 2007 se debe fundamentalmente a la menor generación eléctrica en centrales de fuel (tecnología altamente emisora de CO₂), en ciclos combinados y un descenso de emisiones de refino.

4.1.2. Producción interna y energía eléctrica importada.

Las emisiones del sector energético dentro de la Comunidad Autónoma Vasca disminuyeron un 0,2% respecto a 2007, a pesar de que la generación eléctrica aumentó un 6%. Este descenso está condicionado fundamentalmente por una menor generación de electricidad mediante carbón, un incremento del ciclo combinado y un aumento en la generación mediante energías renovables y cogeneración.

Este ligero aumento en la generación eléctrica, así como un aligera disminución en el consumo han supuesto un descenso en la importación de la electricidad. De hecho, el consumo de energía eléctrica en la CAV en el año 2008 ha disminuido un 0,7% respecto al 2007, condicionado principalmente por el sector industrial. Esto ha llevado a importar un 12% menos de electricidad que en 2007 situando la tasa de autoabastecimiento eléctrico en un 65%.

Las emisiones derivadas de la energía eléctrica importada han disminuido por tanto un 28% respecto a 2007, lo que supone una bajada del 50% respecto a 1990.

4.1.3. Sector transporte.

Por primera vez desde 1990 las emisiones del transporte han sufrido un descenso del 6% con respecto al año anterior, contribuyendo al 23% de emisiones de GEIs de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Aproximadamente el 95% de las emisiones de este sector están asociadas al transporte por carretera. Respecto a 1990 sus emisiones han aumentado un 110%.

4.1.4. Sector industrial.

Las emisiones de GEIs del sector industrial aumentaron un 6% respecto a 2007 y contribuyeron al 22% de las emisiones de la Comunidad Autónoma Vasca. Las emisiones han disminuido un 26% respecto a 1990.

En el 2008 el 60% de las emisiones asociadas a este sector fueron debidas a los procesos de combustión. El 18% se emitió en los procesos de descarbonatación que tienen lugar en la industria mineral (CO₂), El 17% a subprocesos que tienen lugar en la industria química y metalúrgica, y el resto es debido a las instalaciones de refrigeración industrial, a los equipos de extinción de incendios, carga de aire acondicionado de vehículos, uso de disolventes, etc.

Este sector es el mayor consumidor de energía eléctrica (consume el 60% de la electricidad consumida en la Comunidad Autónoma Vasca en 2008). Si imputásemos a este sector las emisiones derivadas de la producción de energía eléctrica este sector tendría una contribución del 41% de las emisiones totales.

4.1.5. Sector Agricultura Ganadería y Pesca.

El sector agrícola ha presentado un descenso de las emisiones de GEIs del 3% respecto a 2007, debido fundamentalmente al menor consumo de combustibles en esta actividad. Las emisiones de la CAV y se han reducido en un 27% respecto a 1990.

En general, en la Comunidad Autónoma del País Vasco, el descenso de las emisiones de CH₄, se debió a la gestión de estiércoles debida a su vez al descenso ganadero tanto bovino como vacuno lechero. En cuanto al N₂O la reducción de emisiones procedentes de pastos se debió al descenso de su superficie que conllevó a la reducción de dosis de fertilizante nitrogenado mineral. Además debido a reglamentaciones, los residuos de los cultivos agrícolas quemados en los campos ha descendido.

4.1.6. Sector residencial y servicios.

Presentaron en conjunto un aumento del 14% en sus emisiones respecto al 2004. Este aumento fue consecuencia del mayor consumo de gasóleo y gas natural.

Ambos sectores contribuyeron al 5% de las emisiones de la CAV. El conjunto de estos dos sectores representó en el 2008 el 33% del consumo final de energía eléctrica en la CAV. Si imputásemos a este sector las emisiones derivadas de la producción de energía eléctrica su contribución sería del 14% respecto al total de la CAV.

El sector residencial ha aumentado sus emisiones un 13% desde 1990 mientras el sector servicios ha aumentado un 16%.

4.1.7. Sector residuos.

En este sector ha continuado la tendencia descendente de los últimos años, lo que ha provocado un descenso en las emisiones del 1% con respecto al año 2007, como consecuencia de una menor generación de residuos y el aumento del porcentaje de reciclaje, lo que conduce a una menor disposición de estos en vertedero. También ha decrecido la cantidad de residuos incinerados. Las emisiones de este sector representan el 5% del total de las emisiones de la CAV y se han reducido en un 8% respecto a 1990.

4.2. Evolución de las emisiones totales de los diferentes gases. (Ver GRÁFICO 4)

4.2.1. Evolución de las emisiones de CO₂.

Es el gas con una mayor contribución a las emisiones de GEI, representado el 88% de las emisiones del País Vasco. En 2008 ha presentado un descenso del 5% respecto a 2007 y un aumento del 25% respecto a 1990.

En valor absoluto, ha sido el sector transporte, el que más ha bajado sus emisiones en relación con los niveles de emisión del 2007, emitiendo unas 370.000 toneladas menos, y cambiando la tendencia ascendente que había seguido durante los últimos años.

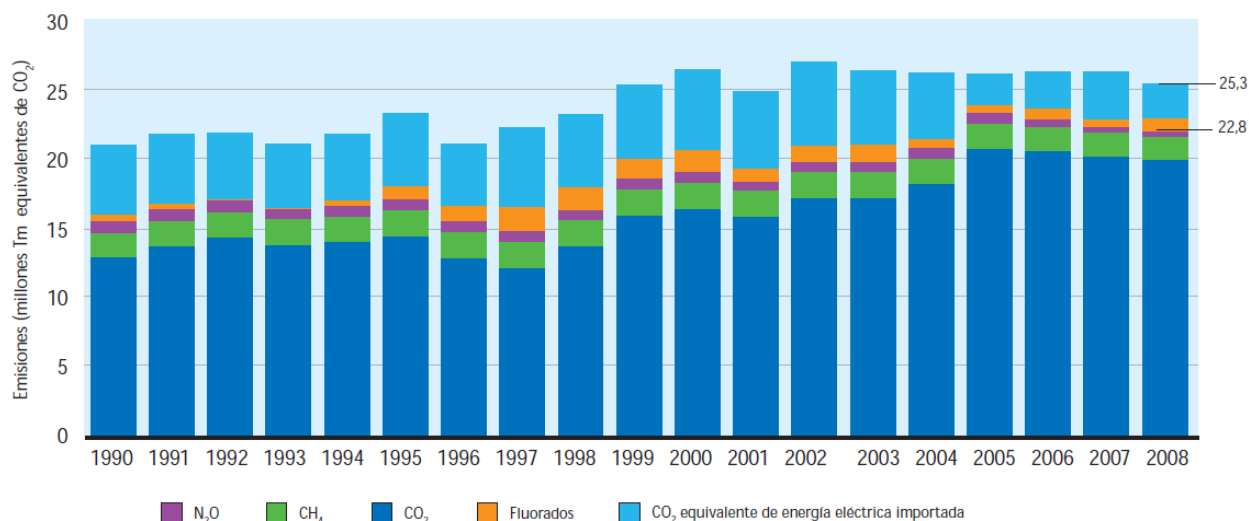


GRÁFICO 4. Evolución de las emisiones totales de GEI por tipo de gas en la CAPV en 2008

4.2.2. Evolución de las emisiones de CH₄.

El metano contribuyó a las emisiones de la Comunidad Autónoma del País Vasco en un 6,6%.

Al igual que las de dióxido de carbono, las emisiones de metano han disminuido un 0,3% respecto a 2007, lo que representa un descenso del 6% respecto a los valores de 1990. Esta disminución ha estado condicionada por la menor emisión en vertederos, en el sector agrícola-ganadero, y en menor medida en los procesos energéticos.

Las principales fuentes de emisión de metano en el País Vasco son los procesos de descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en los vertederos y fermentación entérica que tiene lugar en los animales rumiantes.

La menor emisión en vertederos es debida a la menor cantidad de residuos gestionados en estos y al aumento de captación de biogás.

Las pérdidas fugitivas durante la manipulación, transporte y distribución de gas natural han aumentado con respecto al 2007 en un 11%. Sin embargo, este aumento se ve compensado por el descenso de las emisiones en el sector agrícola-ganadero y por la disminución de emisión en vertederos.

4.2.3. Evolución de las emisiones de N₂O.

En el 2008 estas emisiones contribuyeron al 1,5% de las emisiones totales. La emisión de este gas presentó un descenso del 2% respecto al 2007, lo que supone un descenso del 52% respecto a 1990.

El cese de la producción de ácido nítrico en el País Vasco, a mediados del año 2006, ha supuesto una importante disminución de las emisiones de óxido nitroso.

Actualmente la mayor fuente de emisión de N₂O en la CAPV es el abono de los campos de cultivo (66%), seguido por el tratamiento de aguas residuales (16%) y los procesos de combustión (12%).

4.2.4. Evolución de los gases fluorados.

En el 2008, las emisiones de los gases fluorados contribuyeron al 3,6% del total de GEI, registrando un aumento del 60% con respecto a 2007, lo que supone un descenso superior al 3% respecto a los niveles de emisión de 1995. Este aumento en el último año, se debe fundamentalmente a la mayor emisión de la industria química aunque también se emitan en la fabricación de equipos eléctricos y en otras aplicaciones (refrigerantes, agentes de extinción, fabricación de espumas...).

Su emisión absoluta en unidades de masa es inferior al resto de gases de efecto invernadero sin embargo debido a sus elevados potenciales de calentamiento y al incremento de su uso en los últimos años, su contribución a la tendencia las emisiones totales de gases de efecto invernadero es relativamente significativa.

4.3. Índice de la calidad del aire.

A efectos del Real Decreto 1073/2002 de 18 de octubre la definición de “evaluación” implica cualquier método utilizado para medir, calcular, predecir o estimar el nivel de contaminante en el aire ambiente, lo que nos lleva a definir un índice de calidad del aire.

Para obtener el índice de calidad del aire en la CAPV se dispone de una red de control y vigilancia que mide en tiempo real una serie de parámetros tales como los contaminantes SO₂, NO_x, CO, PM₁₀ y O₃ en estaciones distribuidas en distintas zonas. El conjunto de los posibles valores que el índice de calidad del aire puede tomar los agrupamos en seis intervalos de valores a los que se les asocia una trama o color característico de la calidad del aire de una zona determinada.

El resultado obtenido en el cálculo del índice de calidad del aire será representativo del área de influencia que abarcan las estaciones consideradas en cada una de las zonas. Se trata de un índice de calidad del aire diario. Cada día se modifica el valor del índice y por tanto la información sobre la calidad del aire en la zona

correspondiente, lo que justifica que pueden encontrarse zonas con distinto índice de calidad del aire.

Hasta ahora, en el cálculo del índice de calidad del aire se han ido considerando ocho zonas en el territorio de la CAPV atendiendo a criterios de delimitación geográfica, administrativa, población y superficie.

Tras estudios realizados durante el último año, donde se han tenido en cuenta las incidencias del (ozono) O₃ en verano en estaciones ubicadas en la zona costera, así como de las (partículas) PM₁₀ en las distintas zonas en período (otoño-invierno) y tras los resultados obtenidos, se ha considerado conveniente dividir la CAPV en once zonas para caracterizarla a efectos de la calidad del aire.

ZONAS	ESTACIONES (Coordenadas)
Alava Septentrional	Valderejo, Izki, Lantarón
Llanada Alavesa	Farmacia, Tres de Marzo, Avenida Gasteiz, San Martín, Betoño, Agurain, Los Herrán
Rioja Alavesa	Elciego
Kostaldea	Muskiz, Zierbena, Algorta, Mundaka, Elgoibar, Pagoeta, Avda.Tolosa, Jaizkibel
Donostialdea	Ategorrieta, Renteria, Irun, Puyo, Hernani
Alto Oria	Beasain, Tolosa
Alto Urola	Azpeitia, Zumarraga
Alto Deba-Ibaizabal	Durango, Lemona, Urkiola, Mondragón, Amorebieta, Zelaieta, Montorra, Larrabetzu.
Alto Nervión	Amurrio, Llodio, Areta, Arrigorriaga
Encartaciones	Zalla
Bajo Nervión	Getxo, Santa Ana, Erandio, Náutica, Abanto, Barakaldo, Banderas, Sangroniz, Elorrieta, Indautxu, M ^a Díaz de Haro, Mazarredo, Parque Europa, Basauri

TABLA 4. Estaciones que controlan la calidad del aire en la CAV.

Cada una de las zonas a su vez cuenta con una serie de estaciones remotas equipadas con sensores o analizadores automáticos que miden en tiempo real los distintos contaminantes con los que se va a calcular el índice (Ver **TABLA 4**). El índice de calidad del aire es un valor adimensional que se calcula a partir de los datos horarios de los contaminantes SO₂, NO₂, PM₁₀, O₃ y CO para cada una de las estaciones que integran las distintas zonas. En cada estación se calcula un índice individual para cada contaminante, conocido como índice parcial. El índice global para cada estación coincide con el índice parcial del contaminante que presente el peor comportamiento.

De la misma manera, el peor de los valores de los índices globales de las estaciones de una zona es el que define el índice de calidad del aire para esa zona. El índice de calidad del aire tendrá un valor asignado de forma que cuanto mayor sea este valor peor será la calidad del aire correspondiente a esa zona.