

## **4.1 El Agua**

El agua es el compuesto más relevante de la Tierra. Permitió la aparición y la evolución de la vida y es un constituyente esencial de todos los seres vivos. Es tan importante que el futuro puede verse significativamente afectado si no se logran mejoras en el manejo mundial de los recursos hídricos.

No hay duda que el agua es cada vez más escasa a medida que la población, industria y agricultura crecen.

### **4.1.1 El ciclo hidrológico**

El agua migra sin cesar en la faz de la Tierra. Los océanos y mares, que constituyen más del 90% de la hidrósfera, liberan vapor de agua que se condensa y cae como lluvia.

Esta evaporación y condensación constituyen el ciclo hidrológico de la naturaleza que deja unos 9 000 km<sup>3</sup> de agua disponible para su empleo por la humanidad, volumen suficiente para sustentar a unos 20 mil millones de personas. Sin embargo, al no estar la población mundial y el agua distribuidos de una manera uniforme, la disponibilidad local del agua varía ampliamente.

La lluvia es la fuente de todo abastecimiento de agua. Una parte de ella escurre como agua superficial en la forma de arroyos y ríos; otra parte, penetra en el suelo y se convierte en agua subterránea; el resto, lo toma la vegetación o se evapora. Parte de esas precipita-

ciones se contaminan con gases y partículas introducidas en la atmósfera como consecuencia de la actividad antrópica. Una vez sobre la superficie de la Tierra, el agua escurre y se carga con materiales disueltos y partículas de detritus naturales y de los residuos de la sociedad humana.

### **4.1.2 Aguas continentales superficiales**

#### **\* Cuenca**

Se entiende por cuenca el área de territorio que, por sus pendientes, determina que el agua de lluvia se desplace hacia un curso o fuente de agua superficial

#### **\* Escurrimiento,**

Es aquella parte de la precipitación pluvial que no se evapora, absorbe o filtra por canales subterráneos,

#### **\* Caracterización. Factores condicionantes.**

Las aguas pueden presentar mayor turbidez en algunas épocas del año y, además, son susceptibles de sufrir contaminación. En términos generales no son duras, ni contienen frecuentemente hierro (Fe), manganeso (Mn) u otra clase de materiales disueltos objetables que requieren tratamientos especiales, salvo si están muy coloreadas y tienen pH bajo.

Como factores condicionantes que inciden en la caracterización del agua, pueden mencionarse:

- \* Lluvias. Provocan su dilución brusca,
- \* Mareas (enlentecen e, incluso, invierten el flujo normal de los cursos de agua),
- \* Temperatura. Temperaturas ambiente bajas afectan y enlentecen el tratamiento de las aguas crudas y de las aguas residuales. Las temperaturas altas reducen el oxígeno ( $O_2$ ) disuelto presente en la corriente de agua. No obstante, hay

otros factores que inciden sobre el nivel de oxígeno, siendo el más importante la presencia de algas, debido a la producción de  $O_2$  por fotosíntesis a la luz del día, causando a menudo sobresaturación. Este ciclo diurno afecta no sólo el  $O_2$  disuelto sino también el anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) y el pH,

- \* Embalses. Producen estratificación con valores pobres de  $O_2$  y desarrollo de niveles elevados de Fe y Mn en el fondo,
- \* Desembocadura de ríos en el océano. Acción impredecible dependiendo del flujo de los ríos, condiciones de las mareas, etc.

#### 4.1.3 Aguas continentales subterráneas

**Constituyen** una fuente importante de agua; en términos de capacidad, los acuíferos subterráneos contienen más del 90% del total del agua fresca disponible al hombre; sin embargo, su mayor parte es demasiado profunda como para ser explotada económicamente.

En contraste con los recursos superficiales, las principales restricciones a su uso residen en las dificultades del aprovechamiento del recurso cuando yace en un ambiente hidrológico complejo. Ello implica estudios previos costosos. También lo son el cálculo de la recarga regional y la metodología para optimizar su uso. La evaluación de la recarga es más crítica en áreas de gran demanda. La recarga anual varía con el clima, pero en todo caso es sólo una pequeña fracción del volumen en reserva permanente.

La extracción de agua debe limitarse a la recarga global, si se demuestra que el acuífero está en equilibrio. De lo contrario, la extracción podría poner en peligro el aprovechamiento existente, ya sea debido a una caída permanente de los niveles de bombeo o a otros efectos adversos, como la intrusión de agua de mar.

Suele considerarse el agua subterránea como fuente segura, por lo que, con frecuencia, se pasa por alto la posibilidad de su contaminación. Es fácil reconocer la contaminación obvia de la intrusión de

agua salada, pero hay formas más ocultas de contaminación y, es probable que aumente si no se toman las medidas adecuadas. El agua subterránea es susceptible a la contaminación, particularmente en áreas que tienen muchas perforaciones de bajo costo para la simple extracción acuífera de poca profundidad que surten agua, sin tratar, a comunidades dispersas. El riesgo más notable es el de la contaminación fecal que lleva bacterias, virus patógenos, así como compuestos nitrogenados derivados de sistemas sanitarios sin saneamiento.

Estos riesgos suceden, por ejemplo, donde existe un delgado recubrimiento (menos de 3 metros) de material sin consolidar sobre un acuífero de lecho de roca resquebrajado o donde el nivel hidrostático del agua subterránea sea estacional o permanentemente superficial (menor a 3 metros).

Otra fuente importante de posible contaminación es el uso creciente de fertilizantes y productos químicos:

\* Caracterización. Factores condicionantes.

- Geológicos. El agua subterránea por lo general se mueve lentamente. Su flujo se mide en metros/año comparado con el agua superficial cuyas velocidades se miden en metros/seg. Debido a ello, las características físico-químicas de las aguas profundas son por lo general constantes. Ello también vale para la temperatura que se mantiene por lo general alrededor de los (1011 6 "C). La composición está relacionada con la química de las formaciones geológicas a través de las que ha pasado el agua,
- CO<sub>2</sub> y minerales.

#### **4.1.4 Impurezas y contaminantes del agua: Ocurrencia**

En el sentido estricto, no hay producto químico puro. En el caso del agua todo lo que se encuentra en ella y no es agua, es una impureza. Ésta se considera como contaminante cuando su

concentración alcanza un nivel tal que pueden afectar los procesos industriales, dañar la vida acuática o a la salud pública.

En la naturaleza, las impurezas presentes en el agua rara vez superan el 1 %, salvo en el agua del mar que contiene alrededor del 3% de sales minerales disueltas y, también, en algunos residuos industriales líquidos (RIL). La introducción de impurezas/contaminantes en el agua está vinculada a las lluvias, naturaleza geológica del manto por donde percola el agua subterránea y las actividades, tanto naturales como antrópicas. Estas sustancias pueden estar disueltas o en suspensión.

Entre los materiales disueltos y solubles muchos compuestos son transitorios debido a la actividad biológica, ejemplo: Equilibrio entre distintos compuestos de nitrógeno (N) a saber  $\text{NH}_4$  (Sales de amonio),  $\text{NO}_2$  (nitritos) y  $\text{NO}_3$  (nitratos). Otros, por la incidencia de la luz solar (cambio en las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ );

Hay también procesos de largo plazo que constituyen los ciclos de la naturaleza que, por lo general, involucran organismos vivos que, a su vez, modifican el Medio Ambiente, a saber acidez/alcalinidad, Ciclo del Carbono, Ciclo del Oxígeno, Ciclo del Nitrógeno, Ciclo del Azufre y Potencial Redox.

Algunos compuestos son transitorios en agua, porque oxidan o reducen a otros, ya sea por la actividad biológica (ciclos arriba mencionados) o bien, directamente. Entre ellos están:

- \* Materia orgánica soluble

Constituye una variedad infinita de compuestos, lo que lleva a hacer uso de ensayos genéricos que evidencian su presencia pero, sin distinguir entre sus componentes.

- \* Microcontaminantes

La mayoría de los productos químicos actualmente en uso son compuestos orgánicos sintéticos que, en gran proporción, terminan generando desechos orgánicos, muchos de los cuales son extremadamente tóxicos. La presencia de microcontaminantes

orgánicos en el agua es un peligro directo para la salud pública. Los compuestos orgánicos aromáticos y los alifáticos halogenados son de especial preocupación, porque se sospecha que muchos son carcinogénicos o mutagénicos.

- \* Componentes Insolubles Sólidos

Se clasifican en flotantes, sedimentables y suspendidos.

- \* Organismos Vivos

Los grupos principales de organismos que se encuentran en las aguas superficiales y residuales se clasifican en protistas, plantas y animales.

Existen condiciones físicas y químicas que definen el Medio Ambiente adecuado para asegurar el desarrollo de organismos vivos en el agua. Entre los factores físicos más importantes, pueden mencionarse temperatura, presión y presión osmótica.

En cada zona, hay una variedad de organismos propios y, en consecuencia, es necesario realizar una evaluación periódica de estas poblaciones para determinar las condiciones del cuerpo receptor o fuente de agua cruda y evaluar el efecto de descargas municipales o industriales. Si estas descargas no están adecuadamente tratadas, el cuerpo receptor puede deteriorarse afectando a sus poblaciones o acelerando la eutroficación.

#### 4.1.5 Del agua y contaminación

Es imprescindible preservar la calidad del agua.

Para ello, es necesario conocer los tipos relevantes de contaminación y sus características (Cuadros 1 y 2).

## CUADRO 1

### VOLUMEN Y CARACTERIZACION DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (EFLUENTE CLOACAL)

#### 1. Volumen

Variable de acuerdo a disponibilidad, nivel cultural, etc. Como valor medio (América Latina) puede adoptarse 200/250 l por persona día.

#### 2. Caracterización

Parámetro	Valor
(DBO) <sub>5</sub>	260 mg/l
SST	275 mg/l
S. Sedimentables (Cono Imhoff)	7 ml/l
Carga DBO <sub>5</sub>	54g/hab-día

## CUADRO 2

### TIPOS RELEVANTES DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Tipo Contaminación	Causa	Efectos
Térmica	Industriales; procesos de enfriamiento	Temperaturas elevadas reducen los niveles de oxígeno disuelto y aumentan la velocidad de actividades biológicas y químicas.
Sólidos suspendidos	Materiales inertes, cerámicos, efluentes industriales (fibras, etc.)	Depósitos en lechos de río, estuarios, lagos, modificando el ecosistema. El aumento de turbidez dificulta el pasaje de luz a las plantas acuáticas.
Aceites/Grasas	Efluentes industriales, fugas de tanques de almacenamiento, accidentes, etc.	Evita la absorción de oxígeno, lo que determina reducciones en su concentración y puede inhibir la flora y fauna acuáticas. También causa daño directo a los vegetales y a las plantas.
Nitratos	Arrastres debido al empleo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura intensiva. Descomposición de residuos orgánicos.	Causa crecimientos excesivos de algas y vegetales acuáticos. Puede reducir los niveles de oxígeno disuelto. Puede contribuir a eutroficación en lagos y estanques.
Fosfatos	Presente en fertilizantes y detergentes y efluentes de industriales.	No considerado directamente como tóxico; niveles elevados están asociados con eutroficación.
Residuos orgánicos	Descargas industriales, también debidas a tipos de suelo y a geología.	Reducción dramática del oxígeno disuelto, aumentando la demanda biológica de oxígeno. En el largo plazo causa cambios en la fauna y flora acuáticas.
pH	Descargas industriales; también debidas a tipos de suelo y a geología.	Acidez y/o alcalinidad excesivas pueden ser tóxicas a peces, plantas y microorganismos.
Microbiología	Desagües cloacales, industriales.	Bacterias patógenas pueden causar enfermedades a la especie humana.
Plomo	Cañerías de agua potable; también ocurre naturalmente en el suelo, rocas y agua.	Tóxico. Absorbido por la sangre se acumula en los huesos. Ligado al desarrollo intelectual de las personas.
Microcontaminantes	Descargas industriales, pesticidas, etc.	Tóxicos, en particular si se trata de compuestos orgánicos aromáticos, alifáticos halogenados, (AOX), etc.



## \* Contaminantes de aguas superficiales (ríos y lagos)

Existen desechos orgánicos clásicos, excretas humanas y animales, así como restos agrícolas fibrosos, (provenientes de los cultivos cosechados, representando más de la mitad de los desechos orgánicos clásicos). También hay residuos generados en los procesos industriales y en la disposición de los residuos sólidos de los productos industriales después de un tiempo variable. Aunque los residuos orgánicos son biodegradables, representan un problema, ya que pueden causar reducción del oxígeno disuelto en lagos y ríos.

Las excretas humanas pueden contener microorganismos patógenos tales como los causantes de enfermedades de transmisión hídrica (cólera, fiebre tifoidea y disentería).

Los residuos industriales pueden incluir metales pesados y productos químicos sintéticos tales como pesticidas. Estos compuestos se caracterizan por su toxicidad y persistencia: no son degradados fácilmente en las condiciones ambiente ni en las plantas convencionales de tratamiento de efluentes. También hay productos industriales contaminantes relativamente inocuos porque son inertes, biodegradables o no tóxicos.

Otro aspecto importante de la contaminación del agua radica en la acumulación de metales pesados, nutrientes y compuestos tóxicos en el fondo de deltas, estuarios y ríos. Debido a su contenido contaminante elevado, el dragado de estos sedimentos no puede usarse en rellenos en áreas agrícolas y/o pobladas.

## \* Contaminantes de las aguas subterráneas

El enterrado (dumping) de residuos químicos tóxicos constituye una fuente seria de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales. Los recipientes metálicos utilizados como contenedores se corroen con el tiempo y su contenido afecta el Medio Ambiente.

Si bien la contaminación de ríos y lagos es reversible, ello no es aplicable a las aguas subterráneas. Al presente, poco se conoce respecto a la calidad de las reservas acuíferas subterráneas mundiales, salvo en aquellas zonas donde se explotan activamente (Europa, USA).

Entre el 5 y 10% de los pozos estudiados tienen niveles altos de nitratos, incluso mayores que los 45 mg/1 max, recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Muchos contaminantes orgánicos encuentran su camino en las aguas subterráneas por rotura de tanques de enterrado de residuos, pérdidas de desagües y tanques de combustible y arrastres de las áreas cultivadas y de las superficies pavimentadas en áreas urbanas y suburbanas.

Al no disponer del oxígeno de la atmósfera como las aguas superficiales, las aguas subterráneas tienen una baja capacidad auto-depuradora.

En consecuencia, prevenir la contaminación es el único camino racional para preservar las aguas subterráneas.

#### \* Contaminantes de origen atmosférico

Ingresa al ciclo hidrológico a través de la atmósfera. El viento puede también transportar contaminantes (ceniza voladora o pesticidas) a grandes distancias e incluso depositarlos en las superficies de lagos y ríos.

#### \* Contaminantes de los océanos

Las descargas de los ríos, escorrentías difusas, transporte atmosférico, hundimiento de residuos, extracción minera, accidentes de navegación, etc. son los responsables de los aportes de materia suspendida y disuelta en los océanos y que ejercen sus efectos iniciales en la zona costera.

Lo que aún no se conoce con certeza es cuán rápido las sustancias tóxicas pueden acumularse en los organismos marinos o hasta dónde estas acumulaciones son reversibles. Tampoco se conoce con certeza cómo se transportan los compuestos químicos sintéticos en el océano y si las sustancias tóxicas se acumulan en los sedimentos del fondo y de allí ingresan en la cadena alimenticia que termina en el hombre.

#### 4.1.6 Conservación del recurso agua

Todo proyecto que tiende a un mejor manejo del recurso agua debe orientarse, principalmente, a mejorar la eficiencia del consumo del agua, más que a aumentar su suministro. Aumentar el suministro es a menudo más caro y en todos los casos sólo pospone su crisis.

Resulta claro que la prevención de la contaminación y la rehabilitación de fuentes de agua ya contaminadas deben ser acciones prioritarias con respecto al desarrollo de tecnologías de purificación. Éstas son cada vez más complejas y su costo aumenta a medida que el número de contaminantes crece. Por esta razón, las soluciones "End of Pipe" para los efluentes industriales deben ser sustituidas por prácticas de racionalización, reciclado y reuso.

Las plantas industriales diseñadas y operadas para minimizar la contaminación del agua mediante reducción de sus desechos son, por lo general, más económicas que las que sólo construyen instalaciones de tratamiento para satisfacer los requerimientos normativos aplicables.

Las empresas que implementan políticas de control de contaminación y un sistema de Gestión Ambiental son más competitivas y, al mismo tiempo, aceptadas por parte de las comunidades vecinas, ambientalmente conscientes.

### 4.2 La Atmósfera

El aire es básico para todo ser vivo. Los pulmones de un ser humano medio filtran diariamente 15 kg de aire atmosférico equivalentes a unos 15 m<sup>3</sup> a presión y temperatura normales. Por ello, desde remotos tiempos el hombre ha sido consciente del problema que representa una atmósfera contaminada, como la creada naturalmente por la erupción de un volcán o por él mismo, desde el descubrimiento del fuego.

#### 4.2.1 Contaminación atmosférica

En 1967, el Consejo de Europa dio la definición siguiente:  
"Hay polución del aire cuando la presencia de una sustancia extraña

o la variación importante en la proporción de sus constituyentes es susceptible de provocar efectos perjudiciales o de crear molestias, teniendo en cuenta el estado de los conocimientos científicos del momento".

#### **4.2.2 Composición de la atmósfera**

La atmósfera terrestre ha sido siempre cambiante. No obstante, desde hace unos 200 años, la atmósfera está cambiando mucho más rápidamente que en el pasado.

Los efectos evidentes de estos cambios incluyen:

- \* Depósitos ácidos por lluvia u otros mecanismos,
- \* Corrosión,
- \* Smog urbano,
- \* Debilitamiento de la capa de ozono en la estratósfera.

Estos fenómenos no se deben a modificaciones en los constituyentes mayores de la atmósfera. En efecto, excluyendo el contenido ampliamente variable en vapor de agua, las concentraciones de  $O_2$ ,  $N_2$  y gases nobles que representan el 99.9% de la atmósfera se han mantenido prácticamente constantes.

Los efectos mencionados son causados, en gran parte, por el aumento en los niveles de varios de los constituyentes menores o sea de los componentes en trazas:

- \* Anhídrido Sulfuroso,  $SO_2$ . Por lo general en concentración inferior a 50 partes por mil millones. Contribuye a los depósitos ácidos, corrosión y reducción de visibilidad.
- \*  $NO_2$  (Mezcla de óxido nítrico NO y dióxido de nitrógeno  $NO_2$ ). Tan escasos como el  $SO_2$ . Son importantes en la formación de depósitos ácidos y en el smog fotoquímico.

- \* Clorofluorcarbonos (CFC). Grupo de compuestos que no alcanzan 1 parte por mil millones en la atmósfera. Son los agentes responsables de la reducción de la capa de ozono,  $O_3$ , en la estratósfera.
- \* Metano ( $CH_4$ ). Anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) En concentraciones del orden de las 350 partes por millón (ppm). Junto a los CFC ya  $INO_2$  inducen el efecto invernadero.
- \* Radical hidróxilo (OH), altamente reactivo. Se encuentra en concentraciones muy bajas (5-10 en mil millones). Contribuye a la limpieza de la atmósfera.

Si bien, algunas variaciones en las concentraciones de los constituyentes atmosféricos se deben a variaciones en las tasas de emisión de fenómenos naturales, tales como las erupciones volcánicas que pueden liberar gases de azufre y de cloro, las actividades humanas son responsables en gran parte de los aumentos verificados en los últimos siglos.

En tal sentido, pueden mencionarse la combustión de combustibles fósiles, las prácticas industriales y agrícolas, la quema de biomasa y la deforestación. La combustión de combustibles fósiles para producir energía, libera cantidades importantes de  $SO_2$  (en particular si se queman carbón y/o petróleo con elevado contenido en S),  $NO_x$  (compuestos de nitrógeno que se forman cuando el  $N_2$  y el  $O_2$  en el aire se calientan) y  $CO_2$ . Si la combustión es incompleta se producen monóxido de carbono (CO) y una variedad de hidrocarburos incluyendo metano y hollín, es decir, partículas de carbón (C).

Otras actividades industriales liberan cantidades adicionales de  $SO_2$  o provocan liberación de CFC e, incluso, metales tóxicos en el aire. Por su parte, las actividades agrícolas provocan emisiones de varios gases. Ejemplos:

- \* La quema de bosques y de biomasa libera  $CO_2$ , CO,  $NO_x$ ,  $CH_4$ ,
- \* Los suelos tratados con fertilizantes nitrogenados emiten  $NO_x$ ,

- \* La cría de ganado (digestión anaerobia en el tracto digestivo de los mamíferos) así como el cultivo de arroz son fuentes de emisión de metano.

### 4.2.3 Lluvia ácida

Es el resultado de las interacciones atmosféricas entre  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y OH dando lugar en cuestión de días a ácido nítrico  $\text{HNO}_3$  y ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  que se disuelven en el agua atmosférica y que cuando se precipita sobre la tierra, constituye la lluvia ácida.

### 4.2.4 Smog

Con esa denominación se hace referencia a la mezcla de gases que se forma en las capas bajas de la tropósfera donde sólo están presentes radiaciones de longitudes de onda superiores a los 280 nm. La radiación solar actúa sobre emisiones antrópicas, en particular  $\text{NO}_x$  e hidrocarburos (precursores) de los gases de escape de los vehículos, dando origen a gases reactivos (aldehidos, ozono) que afectan a los organismos vivos. Por lo general, se produce en las ciudades y sus alrededores.

Los  $\text{NO}_x$  desempeñan el papel de catalizador en estas reacciones fotoquímicas, mientras que los compuestos orgánicos son consumidos, siendo eventualmente oxidados a  $\text{CO}_2$ .

El ozono es el producto resultante más importante de estas reacciones y es el responsable de irritación a los ojos, mal funcionamiento pulmonar y daño a árboles y cultivos. La severidad del smog se mide en función de las concentraciones de ozono a nivel de la superficie de la Tierra.

Para reducir la presencia de ozono en los niveles bajos de la atmósfera, debe controlarse la relación compuestos orgánicos volátiles VOC/ $\text{NO}_x$ . Como consecuencia de ello, se está trabajando en la industria petrolera sobre reformulación de gasolinas y combustibles alternativos. Paralelamente, se controlan también las condiciones de combustión en los generadores estacionarios para minimizar la formación de  $\text{NO}_x$ .

Las soluciones más sencillas y de menor costo consisten en rediseñar los quemadores (alimentación de aire o de combustible en etapas), recirculación de los gases de combustión o, una combinación de ambas.

#### **4.2.5 Debilitamiento del ozono en la estratósfera**

La presencia del ozono entre los componentes de la atmósfera evita la incidencia de las radiaciones ultravioleta más dañinas sobre la superficie de la Tierra.

La concentración del ozono en la atmósfera es función de la dinámica de los procesos de su formación, destrucción y transporte y varía con el tiempo y en el espacio. Diferentes ciclos catalizados y especies moleculares diversas interactúan en la destrucción o regeneración del ozono. La causa antrópica mayor de su destrucción se debe a la presencia de NO<sub>x</sub>, Cl (cloro) y Br (bromo) atómico en la estratósfera, lo que conduce al empobrecimiento de la capa de ozono con sus efectos negativos sobre la biósfera.

Las causas más importantes de la presencia de NO<sub>x</sub> en la atmósfera son los motores a combustión interna y los aviones a reacción y la presencia del Br al uso del bromuro de metilo para el tratamiento de productos agrícolas.

En 1974, Molina y Rowland identificaron la relación en la atmósfera entre los CFC, productos exclusivos de síntesis y la liberación en la estratósfera de Cl atómico que activa el ciclo catalítico de destrucción del ozono. Se dispone de evidencia experimental de la disminución de la concentración del O<sub>3</sub> estratosférico, fenómeno que se observa en el continente antártico con la aparición del agujero de ozono.

Esto es consecuencia del comportamiento meteorológico particular de esta región en su estación invernal. Durante esta época existe una gran masa de aire aislada del resto de la atmósfera (vórtice polar antártico) que alcanza temperaturas bajas (- 90 °C), favoreciendo la formación de nubes estratosféricas que facilitan las reacciones químicas en fase heterogénea que convierten los compuestos de Cl de inactivos en activos. Al llegar la primavera austral, estos

compuestos se fotolizan por la acción de los rayos solares, liberando radicales de Cl que destruyen el ozono.

Estos conocimientos y la gravedad de las consecuencias de la destrucción del ozono llevaron a establecer a nivel internacional restricciones a la fabricación y uso de los CFC (Protocolos de Montreal - 1988 y de Londres - 1990). Mediante este último se busca revertir en los próximos 100 años la situación actual, haciéndola similar a la prevaleciente antes de manifestarse el agujero de la capa de ozono.

Todo apunta a eliminar los compuestos clorofluorcarbonados (CFC) sustituyéndolos por los hidroclorofluorcarbonados (HCFC) y por los hidrofluorcarbonados (HFC) (Cuadro 3).

Se considera que al no contener Cl, los compuestos HFC tendrán un potencial cero de destrucción de ozono.

En **1992** sólo un compuesto HFC (134a) estaba empezando a producirse en escala comercial. Al presente, ya ha empezado a sustituir al CFC-12 en sistemas de refrigeración domésticos, etc.

Si cesa la emisión de CFC, las reacciones químicas que causan la destrucción del  $O_3$  de la estratósfera continuarán por lo menos durante un siglo, porque los compuestos permanecen largo tiempo en la atmósfera y continuarán difundiéndose desde la tropósfera a la estratósfera durante un largo tiempo después del cese de las emisiones.



**CFC, HCFC, HFC Y OTROS. VIDA MEDIA Y SU  
INCIDENCIA RELATIVA SOBRE EL OZONO  
ESTRATOSFERICO (O<sub>3</sub>) Y EL EFECTO INVERNADERO EI  
(REFERIDAS AL R-I I)**

<b>Compuesto</b>	<b>Vida Media Años</b>	<b>O<sub>3</sub></b>	<b>EI</b>
11	50	1.0	1.0
12	120	0.9-1.0	2.8-3.4
CFC 113	90	0.8-0.9	1.3-1.4
114	200	0.6-0.8	3.7-4.1
115	400	0.3-0.5	7.4-7.6
22	15.3	0.04-0.06	0.32-0.37
123	1.6	0.013-0.022	0.017-0.020
HCFC 124	6.6	0.015-0.024	0.092-0.10
141 B	7.8	0.07-0.11	0.084-0.097
142 B	19.1	0.05-0.06	0.34-0.39
125	28.1	0	0.51-0.65
HFC 134 a	15.5	0	0.24-0.29
143 a	41.0	0	0.72-0.76
152 a	1.7	0	0.026-0.033
CC L <sub>4</sub>	50	1.0-1.2	0.34-0.35
CH <sub>3</sub> CC L <sub>3</sub>	6.3	0.10-0.1	0.022-0.026
CO <sub>2</sub>	-	0	1.5-10-4

Fuente: Gustavo Lorentzen

Thermodynamic Heating

/IIR/IIF - Commission E2 - Suecia 1990/2

#### 4.2.6 Efecto invernadero

Es la consecuencia de las propiedades atmosféricas de absorción, reflexión y transmisión de los espectros de la radiación solar incidente sobre el planeta, de la emisión terrestre y de la propia atmósfera.

##### \* Mecanismo

Si no existiera radiación solar ni atmósfera, la temperatura media de la superficie de la Tierra sería 30 °K (-243 °C) causada por la transmisión de su calor interior hacia el espacio interestelar que está a 3 K (-270 °C). Mediante la radiación solar, la temperatura media alcanzaría a 255 °K (-18 °C) siempre sin atmósfera.

Si se tiene en cuenta el efecto invernadero debido a la atmósfera, se llega a 288 °K (+15 °C); sin embargo, en la actualidad el efecto invernadero alcanza a +33 °C. Esta diferencia está vinculada con la presencia en la atmósfera terrestre de compuestos con efecto invernadero, relativamente transparentes a la radiación solar incidente, pero con grandes absorciones respecto a la radiación infrarroja emitida. Así, la potencia radiante que escapa al espacio es menor que la emitida por la superficie terrestre.

En el efecto invernadero participan los componentes naturales de la atmósfera terrestre (vapor de agua,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{O}_3$ ), el albedo (reflejo de todo el espectro de la radiación solar por la atmósfera y por la superficie terrestre) y los CFC.

Para la radiación infrarroja generada en la superficie de la Tierra existe una ventana de transparencia en el entorno con 8- 12 nm de longitud de onda centrada en el máximo de emisión de energía que escapa al espacio. Por alteración de la composición de la atmósfera con compuestos traza de gases que absorben radiación en esta ventana, se aumenta significativamente el efecto invernadero natural.

Pero, al mismo tiempo, el aumento de la concentración atmosférica de los gases con efecto invernadero, implica un aumento de la retención de calor y como consecuencia, un calentamiento de la

atmósfera (Cuadro 4). Esto es preocupante, porque los cambios en la temperatura y en las precipitaciones pluviales pueden alterar los ecosistemas naturales, la producción agrícola y los asentamientos humanos.

#### CUADRO 4

#### CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE DISTINTOS COMPUESTOS SOBRE EL EFECTO INVERNADERO

Compuestos	Conc. en la atm. (1989) ppm (vol)	Variación Anual relativa de conc. (% anual)	Efecto Invernadero relativo mol.
CO <sub>2</sub>	350	0.4	1
CH <sub>4</sub>	1.7	1	30
N <sub>2</sub> O	0.31	0.3	160
O <sub>3</sub> (Troposf)	0.06	1.5	2 000
R-11	0.00026	5	2 1000
R-12	0.00044	4	2 5000

CO<sub>2</sub>: La mayor fuente antropogénica es el quemado de combustibles fósiles. El depósito más importante es el océano a través de mecanismos de absorción no completamente esclarecidos aún (los océanos fijan aprox. 40% del CO<sub>2</sub> de origen antropogénico). Otro depósito lo constituye la vegetación (síntesis clorofiliana).

CH<sub>4</sub>: Producto de los procesos de mat. vegetal (por bacterias anaerobias (sist.digestivo de los bovinos y termitas). Lagunas y pantanos. Fuentes antropogénicas, combustión de biomasa, pérdidas en extracción y manipulación de gas natural, actividad minera y residuos urbanos. Se estima que el 60% del CH<sub>4</sub> liberado anualmente es de origen antropogénico. El principal depósito del CH<sub>4</sub> atmosférico está en la tropósfera constituido por reacción fotoquímica con radicales OH.

N<sub>2</sub>O: En el suelo por operaciones agrícolas; surge naturalmente en los océanos y estuarios; la producción antropogénica además de la actividad agrícola se debe al quemado de los combustibles fósiles. Se estima que el origen natural es del 60% del total de las emisiones de N<sub>2</sub>O en la atmósfera.

R-11/R-12: Compuestos Sintéticos (CFC).

## 4.2.7 Preservación de la atmósfera

Frente a este panorama de incertidumbres, si bien es difícil decidir sobre las acciones a emprender, surgen como las más sensatas y razonables, las siguientes:

- \* Aumentar los rendimientos globales en todos los usos de la energía. Dividir al menos por dos, las ineficiencias actuales,
- \* Sustituirlos combustibles fósiles con alto porcentaje de carbono por unidad térmica, priorizando en donde sea posible el uso de gas natural,
- \* Incrementar el uso de energías y recursos renovables,
- \* Eliminar el uso de los CFC,
- \* Mejorar los rendimientos en la agricultura,
- \* Conservar los suelos y el agua, mejorar el rendimiento global del riego y disminuir el uso de los biocidas,
- \* Propender al reciclado de todos los residuos.

Es importante que las organizaciones estén conscientes de que sus actividades pueden tener impactos negativos sobre la atmósfera, no sólo locales sino globales.

En este sentido, las naciones desarrolladas deben reducir el empleo desproporcionado de los recursos terrestres y, las naciones en vía de desarrollo deben adoptar tecnologías y planear estrategias que permitan elevar el nivel de vida de sus habitantes, sin afectar negativamente el Ambiente.

## 4.2.8 Gases tóxicos en espacios confinados

Por espacios confinados se entienden los locales industriales, tanques, piletas, cámaras aisladas, etc, en los cuales pueden existir problemas de disminución del nivel de oxígeno presente en la atmósfera, presencia de gases y/o sustancias tóxicas utilizadas

normalmente en las industrias, originados por el desarrollo de algunas actividades antropogénicas, y/o por procesos naturales de degradación de residuos de origen animal u orgánico, etc.

Ejemplos:

- \* Humos de soldadura eléctrica (generación  $O_2$ , etc.)/oxiacetilénico
- \* Solventes orgánicos para limpieza,
- \* Amianto (aislaciones),
- \* Depósitos/pozos de agua, etc. contaminados con restos animales/orgánicos en descomposición,
- \* Gases normalmente utilizados en la industria ( $NH_3$ ,  $SO_2$ ,  $Cl_2$ ,  $O_3$ ).

En términos generales, cuales quiera de los gases o sustancias arriba mencionadas puede afectar la salud de las personas e incluso producir su muerte, dependiendo del tiempo de exposición y del grado de contaminación de la atmósfera circundante. El Cuadro 5 incluye valores normalizados para los gases más comúnmente usados o presentes en las industrias.

Debe tenerse presente que el cumplir con esas especificaciones no significa que no sea necesario reducir los niveles de emisión de esos gases y mejorar la ventilación de los locales. Es recomendable efectuar muestreos y mediciones, siempre que existan situaciones en que se supera el 50% del valor TWA indicado en el Cuadro 5. No obstante, la meta al respecto es garantizar un flujo de aire puro, evitando el ingreso al mismo de contaminantes atmosféricos. Esto es más seguro y económicamente más conveniente que implementar un monitoreo permanente de los niveles de contaminación del aire.

Las actividades de soldadura eléctrica suelen producir ozono, debido a que la radiación ultravioleta del arco descompone las moléculas de oxígeno en átomos libres. El ozono formado en estas circunstancias es extremadamente estable a temperatura ambiente y se detecta por su olor picante cuando se encuentra en concentraciones del orden de 0.05 mg/kg (ppm). La mayor

concentración se forma alrededor del arco de soldadura, a unos 10/ 15 cm del mismo, habiéndose medido en esa zona valores de hasta 7 mg/kg (ppm) de ozono.

No todos los procesos de soldadura generan el mismo nivel de ozono; por ejemplo, no es problema cuando se emplean electrodos revestidos. Ello es consecuencia que, durante la soldadura, el recubrimiento produce un nivel elevado de NO que reacciona con el ozono descomponiéndolo en  $O_2$  y  $NO_2$ .

También el tipo de corriente eléctrica afecta la producción del ozono; la alterna genera mayor cantidad de NO que la continua. Si bien el CO y el  $H_2$  pueden reducir el nivel de ozono, su efectividad es muchísimo menor que la del NO (300 mg/kg en el gas de protección reducen el nivel de ozono producido en un 90%). Esto ha conducido a modificar la composición de los gases de protección utilizados en las soldaduras TIG, MAG y MIG.

## CUADROS

### ATMÓSFERAS CONFINADAS. NORMAS DE EXPOSICIÓN A ALGUNOS GASES

Gas	TWAppm	STELppm	CEILppm
$H_2S$	10	15	
CO	50	400	
$NH_3$	25	35	
$SO_2$	2	5	
$Cl_2$	0.5	1	
$CO_2$	5.000	30.000	
$O_3$			0.1 (a)

**TWA:** (Time Weighted Average)

Concentración media de una sustancia en la atmósfera considerando una exposición de 8 h diarias durante 5 días por semana y que no causa efectos adversos a la salud ni molestias a los trabajadores.

**STEL:** (Short Term Exposure Limit)

Significa un TWA medido durante 15 minutos de exposición, que no puede darse en más de 4 ocasiones espaciadas entre sí por 60 minutos.

**CEIL:** (Ceiling Value; Valor Techo)

Concentración que no puede sobrepasarse durante ningún momento de la jornada de trabajo.

- (a): Es mucho más tóxico que los otros gases que se generan en la soldadura, puesto que su límite máximo admisible es más bajo (50 veces menos que el del NO<sub>2</sub>, 4000 que el del CO<sub>2</sub> y 250 menos que el del NO).

Fuentes: Hazardous Atmospheres in Confined Spaces.

CSIRO - Newsletter 92/2 Australia

Mapfre Seguridad N°49 Primer Trimestre 1993

## **4.3 El Suelo**

Ese componente sólido de la superficie terrestre en contacto e interacción con los fluidos que lo limitan, agua, atmósfera y con los seres vivos. Es imprescindible para producir la mayoría de los alimentos requeridos por la especie humana.

Paralelamente, la flora y gran parte de la fauna también son dependientes del suelo y de su cuidado.

### **4.3.1 Características relevantes**

Facilita el sustento de los seres vivos y es el substrato para el desarrollo de los vegetales. Constituye el soporte de las construcciones antrópicas. Se desempeña como reserva de recursos minerales. Permite la disposición de residuos preferentemente sólidos provenientes de las actividades antrópicas.

### **4.3.2 Afectaciones antrópicas negativas relevantes**

- \* Desarrollo económico

En los países desarrollados, el deterioro del suelo se debe

preferentemente a la acción de agentes contaminantes. Por su parte, en los países en vía de desarrollo predomina el cambio de sus propiedades, debido en su gran mayoría a malas prácticas agrícolas, lo que se traduce en desertificación, erosión, tala y quema de bosques, etc.

\* Carácter de las afectaciones antrópicas

Se distinguen acciones puntuales y difusas. Las primeras, comprenden por lo general vertimientos que, en atención a lo limitado de su radio de acción, son relativamente fáciles de controlar. Por su parte las acciones difusas son de más difícil solución por cuanto involucran preferentemente segmentos sociales tales como la agricultura, industria, etc.