



# QUÍMICA DEL CLORO



## 1 - Esencial para la vida y bienestar

El elemento Cloro, número 17 del sistema periódico de Mendeleiev, fue aislado como gas por el químico sueco Carl W. Scheele en 1774 y reconocido como un verdadero elemento por sir Humphry Davi en 1810.

El Cloro, undécimo elemento más abundante de la litosfera, es incluso más abundante que el Carbono. Formando una molécula con el Sodio, da lugar a una sustancia esencial para la vida: la sal común o cloruro de sodio (ClNa). La primera célula se desarrolló hace 3000-4000 millones de años en la fuente de toda materia orgánica: el mar. La sal es vital para el organismo humano, por lo que ha sido desde la antigüedad una sustancia muy apreciada. También es parte activa del sistema biológico de plantas y animales.

El cloro interviene, directamente o como intermediario, en más del 50% de la producción química y petroquímica mundial y participa activamente en la industria aeroespacial, mecánica, telecomunicaciones, transportes, informática, construcción, nuclear, textil, metalúrgica, cosmética, farmacéutica, plástica, etc.

La química del Cloro crea bienestar y calidad de vida. En nuestras actividades cotidianas utilizamos constantemente productos químicos, cuya fabricación depende directa o indirectamente del cloro. Cada vez que nos desplazamos en automóvil, nos alimentamos, nos vestimos, tomamos vitaminas, empleamos lociones, o simplemente bebemos un vaso de agua, el Cloro está trabajando a favor nuestro.

Es evidente que el buen uso del Cloro y sus derivados, proporciona muchas más ventajas que inconvenientes. A principios del siglo XVI, Paracelsus (1493-1541) afirmaba: *“Todas las sustancias son venenosas, no existe ninguna que no lo sea. La dosis debida determina un veneno y un remedio”*. La naturaleza ejemplifica esta afirmación, al determinar cuáles deben ser los límites del contenido de cloruro de sodio en el flujo sanguíneo del ser humano, ya que son contraproducentes para la salud tanto valores bajos como elevados.

Existe cierta tendencia a extrapolar alguna de las características particulares (toxicidad, persistencia, bioacumulación) de un reducido número de compuestos como los PCB (policlorobifenilos), DDT y dioxinas a la totalidad de los compuestos organoclorados de los cuales se conocen más de 12.000. **Es aceptado por la comunidad científica que el comportamiento de cualquier sustancia, clorada o no, depende de su estructura individual, concentración y estado.**

La comunidad científica, refiriéndose al Cloro, lo menciona a menudo como la “piedra angular” para el desarrollo de la química. Así el Chemical & Engineering News expresa que *“el Cloro es el material del cual las producciones de otros materiales más dependen”*.

## 2 - Propiedades

El Cloro en estado gaseoso es dos y media veces más pesado que el aire y en estado líquido una y media vez más pesado que el agua. Es ligeramente soluble en agua.

En bajas concentraciones, es casi incoloro. A medida que la concentración aumenta, toma un color amarillo verdoso. Tiene un olor penetrante, fácilmente detectable a muy bajas concentraciones (menos de 1ppm de cloro en el aire).

El Cloro no es explosivo ni inflamable. Reacciona fácilmente con muchos materiales y puede mantener la combustión como el oxígeno. Es, por lo tanto, extremadamente reactivo, por lo que en la naturaleza no lo encontramos en estado puro, sino combinado, formando mayoritariamente sales metálicas de las cuales la más abundante es el cloruro de sodio (sal de mesa).

Precisamente, dicha reactividad, junto con sus características particulares -elevado poder oxidante, abundancia y facilidad de extracción de su materia prima (ClNa)- convierten al cloro en una sustancia de un interés técnico y económico extraordinario, que en numerosos procesos industriales es insustituible o bien de muy difícil reemplazo. Por lo tanto se debe tener en cuenta que todo proceso alternativo debería cumplir las siguientes condiciones, difícilmente alcanzables:

- Técnicamente realizable.
- Económicamente viable.
- Menor impacto ambiental.

### 3 - Producción

Se obtiene a partir de una solución de sal (salmuera), procesada electrolíticamente. Por cada 1,7 ton. de cloruro sódico (NaCl) se obtiene **1 ton. de cloro**, 1,13 ton. de soda cáustica (NaOH) y 315 m<sup>3</sup> de hidrógeno. La soda cáustica es un álcali extremadamente importante para la industria química, que la utiliza para la producción de papel, aluminio, fibras textiles (rayón, fibrana), jabones y detergentes, procesamiento de alimentos, tratamiento de aguas, etc. El hidrógeno se utiliza en la hidrogenación de grasas y aceites, fabricación de vidrio plano, etc. o como combustible.

Existen tres tipos de instalación para la electrólisis de la salmuera:

#### 1. Instalaciones con celdas de mercurio:

Estas celdas se fundamentan en la propiedad del sodio de formar con el mercurio (cátodo) una amalgama líquida, que se descompone con el agua formando una solución al 50% de NaOH, hidrógeno (H<sub>2</sub>) gaseoso y liberando el mercurio (Hg) que continúa su ciclo en circuito cerrado. Por otro lado el cloro (Cl<sub>2</sub>) se desprende en el ánodo.

Desde el punto de vista ecológico, las electrólisis con cátodos de mercurio han estado acusadas de contribuir a la contaminación atmosférica y acuífera. Es muy importante mantener las emisiones de mercurio lo más bajas posible, para lo cual los efluentes líquidos y gaseosos son prolijamente desmercurizados. Actualmente, para la producción mundial de cloro, la cantidad total de mercurio en los efluentes ha sido sustancialmente reducida y representa alrededor de 5000 veces menos que las emisiones de origen natural. Por otra parte la técnica moderna ha puesto a punto ánodos dimensionalmente estables construidos de titanio, recubiertos de metales nobles, que proporcionan economía en el consumo energético y permiten obtener cloro más puro sin contaminación de CO<sub>2</sub> y de otras sustancias orgánicas cloradas.

Hay una tendencia mundial a ir reemplazando estas celdas por las de membrana en la construcción de nuevas plantas y en la renovación y / o ampliación de las existentes.

#### 2. Instalaciones con celdas de diafragma:

En este tipo de celda, los compartimientos anódico y catódico están separados por una lámina porosa, denominada diafragma. El cloro se desprende en el ánodo, mientras que el hidrógeno y la solución alcalina de NaOH (10-12%) se generan en el cátodo. Aunque dichas celdas consumen menos energía que las de mercurio, para llegar a obtener una solución de soda cáustica comercial al 50%, es necesario evaporar el agua y precipitar la sal residual, proceso muy costoso y aún así el hidróxido sódico obtenido no alcanza el grado de pureza necesario para algunas aplicaciones. Además hay un riesgo ecológicosanitario de utilizar amianto para la construcción de los diafragmas.

#### 3. Instalaciones con celdas de membrana:

La membrana está fabricada a base de polímeros perfluorosulfónicos y permite obtener disoluciones de hidróxido sódico de concentración superior al 30%, de elevada pureza. Pero, para alcanzar la concentración de la soda cáustica comercial (50%), debemos recurrir a la evaporación de agua con el consiguiente aumento del costo y de consumo de energía.

Las celdas de membrana tienen la ventaja sobre las de mercurio y diafragma de que no utilizan ningún material con riesgo contaminante para la separación de los productos electrolíticos, siendo su consumo energético similar a las de diafragma. Sin embargo, la inversión que supondría el reemplazo total de las celdas existentes por las de membrana no justificaría el cambio de tecnología, ya que los enormes progresos conseguidos en las de mercurio, hacen que las ventajas medioambientales de dicho cambio sean mínimas.

## 4 - Usos

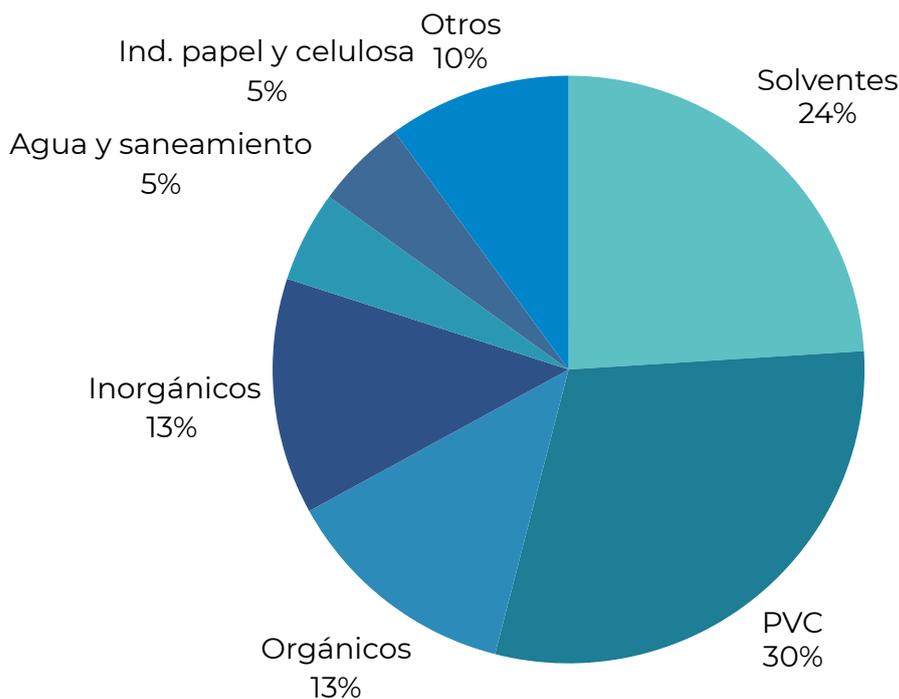
Su principal uso es en la fabricación de policloruro de vinilo (PVC). Otros polímeros importantes producidos con cloro son los poliuretanos.

El 1-cloro-2,3-epoxipropano tiene numerosos usos industriales, siendo el más importante la fabricación de resinas epoxi. Entre los usos de los clorometanos se encuentran la fabricación de siliconas y politetrafluoroetileno (PTFE).

Los disolventes (incluido el tricloroetano) se utilizan en la limpieza en seco.

El cloro también se utiliza en la fabricación de muchos compuestos inorgánicos, en particular dióxido de titanio y cloruro de hidrógeno.

La mayor parte del cloro se produce en el lugar en el que se va a utilizar, por ejemplo, para fabricar ácido clorhídrico y los demás compuestos descritos anteriormente.



## 5 - Importancia socio-económica

La química del cloro es uno de los pilares del desarrollo económico e industrial del siglo XX. El cloro es un producto tan esencial para la química que si no existiera habría que inventarlo. La demanda de cloro de un país está directamente relacionada con la evolución de su Producto Bruto Interno (PBI).

Cada año, en el mundo, se producen aproximadamente 40 millones de toneladas de cloro, utilizadas y transformadas en productos útiles para nuestra vida cotidiana.

|  |     |
|--|-----|
| <b>Polímeros clorados</b> (policloruro de vinilo, policloropreno, policloruro de vinilideno)   | 44% |
| <b>Polímeros sin cloro</b> (poliuretano, policarbonato, siliconas, resinas epoxi, fibras de carbono, politetrafluoroetileno, polisulfuro de fenileno...) | 12% |
| <b>Otros productos clorados</b> (medicamentos, colorantes, plaguicidas, solventes...)  | 20% |
| <b>Intermedios</b> (medicamentos, fitosanitarios, química fina...)   | 20% |
| <b>Cloro elemental</b> (tratamiento agua potable, química del bromo, metalurgia...)  | 4%  |

El cloro hace posible el “*desarrollo sostenible*” solicitado en la Cumbre de la Tierra de 1992. Gracias a su reactividad pueden utilizarse los recursos naturales de forma más efectiva, ahorrando energía, ya que al reaccionar a temperatura ambiente, generalmente no precisa de aporte energético suplementario. También los paneles aislantes de poliuretano contribuyen al ahorro de energía en edificios y viviendas. Este material ha hecho posible, junto con los agentes refrigerantes, la difusión de la refrigeración, contribuyendo a una difusión más racional de los productos alimenticios.

Por otra parte, los productos fitosanitarios han aumentado de manera espectacular la producción de las cosechas, contribuyendo a reducir el hambre en los países del tercer mundo. En muchos de dichos países, el uso de determinados insecticidas (DDT), desinfectantes (cloro, hipoclorito de sodio), y medicamentos han logrado dominar, e incluso erradicar, algunas enfermedades endémicas (cólera, malaria, tifus).

Hoy no sería posible utilizar la energía solar sin el cloro. Las células solares están compuestas de sílice ultra puro (99,9999%) cuya obtención precisa cloruro de hidrógeno. También se necesita sílice ultra puro en la fabricación de “microchips” para las computadoras.

**¿Puede sustituirse el uso del cloro?** Aún si se justificara, lo cual está muy lejos de ser el caso, la sustitución en los casos mencionados o en otras aplicaciones sería técnicamente difícil y socio-económicamente muy costosa. Evaluaciones socio-económicas realizadas en USA sobre la prohibición de la química del cloro y considerando que se pudieran encontrar sustitutos para todas sus aplicaciones, estiman que el período de transición tardaría al menos un mínimo de 20 años y además resultaría:

- Costo extra para los consumidores.
- Pérdida de fuentes de trabajo.
- Pérdidas financieras (balance de pagos, inversiones, ventas...).

***Poner en peligro la situación socio-económica actual de la industria del cloro es sólo aceptable si el riesgo de esa actividad, para nuestra salud y medio ambiente, fuese realmente severo.***

Es necesario y lógico que se tomen medidas adecuadas contra eventuales daños y para disminución de los riesgos, pero esto no es específico para la industria química del cloro. Consideraciones de este tipo sobre cualquier sector de la actividad económica, deben ser evaluadas en base a un análisis científico del riesgo-beneficio.

Entre los más abundantes y perjudiciales contaminantes atmosféricos, encontramos:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el principal responsable del efecto invernadero.
- Monóxido de carbono (CO), de acción mortal.
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno responsables de la lluvia ácida.

Todos estos compuestos tienen en común ser derivados del oxígeno. Sin embargo no parecen ser suficiente motivo para iniciar una demanda de prohibición para el oxígeno y su química.

Industriales, científicos, medioambientalistas, y cualquier formador de decisiones de la sociedad deben considerar la preservación de nuestro medioambiente sobre bases científicas antes que

reacciones emocionales, mediáticas, políticas, slogans o aspectos rentables, con el fin de abordar el problema real con soluciones técnicas y legales racionales.

## 6 - El Cloro en la naturaleza

El cloro ha sido “inventado” por la naturaleza mucho antes que la aparición del hombre sobre la Tierra. Es el décimo séptimo elemento químico aparecido en el Universo, antes que el hierro, cobre, zinc, etc. hace centenas de millones de años. Cuanto más se profundiza en el microcosmos con los modernos sistemas analíticos, más se confirma que la naturaleza ha desarrollado procesos químicos con cloro mejor que lo hacemos los humanos.

Hay una discusión latente en la sociedad alrededor del cloro, sus derivados y su influencia sobre el medio ambiente, que en algunos momentos se sobredimensiona en algunas esferas hasta el extremo de expresar que la solución pasa por prohibir la industria del cloro. Esta simplificación ignora que la naturaleza fabrica compuestos clorados de todo tipo, inclusive antes que el hombre los desarrollara.

**Los océanos constituyen la mayor reserva de cloro natural. La fotólisis de cloruros de sal marina en la atmósfera produce 2 a 50 Kg. de ácido clorhídrico por hectárea y por año.**

**Los compuestos organohalogenados más simples abundan en nuestro planeta. Así, por ejemplo, algas marinas, bacterias, hongos de la putrefacción, setas, cedros, cipreses, fitoplancton e incluso las papas producen clorometano.**

Los mares árticos son una enorme fuente de compuestos organoclorados tales como cloruro de metilo ( $\text{Cl CH}_3$ ) y cloroformo ( $\text{Cl}_3 \text{CH}$ ), junto con compuestos organobromados tales como bromoformo ( $\text{Br}_3 \text{CH}$ ). Estos compuestos son producidos por algas marinas y bacterias y el total de cloruro de metilo producido se estima en alrededor de cinco millones de toneladas por año. Se estudia si hay relación entre la producción estacional de estos compuestos orgánicos halogenados y los cambios estacionales del agujero de ozono sobre los mares árticos.

En la parte superior de los suelos fértiles (humus), se originan compuestos organohalogenados tales como cloroformo y ácido tricloroacético por reacciones de oxidación de los cloruros a cloro y reacción subsiguiente de este con las sustancias orgánicas del humus vegetal. La reacción es catalizada por enzimas de peroxidasas producidas por hongos del suelo.

Sin embargo, el mayor contenido de compuestos organohalogenados en los suelos son los ácidos húmicos clorados (en Suecia se estiman en cinco millones de ton.), de estructura macromolecular. Sólo parcialmente, los ácidos húmicos y fúlvicos más solubles son arrastrados por el agua superficial.

En resumen la producción de compuestos organohalogenados en medioambientes marinos y en los suelos provoca el desprendimiento de compuestos clorados volátiles al aire, donde son degradados en la troposfera a cloruros y compuestos organohalogenados más estables tales como los ácidos cloroacéticos. La deposición, seca o húmeda, de estas sustancias cierra este ciclo natural del cloro. Por otra parte el agua de lluvia provoca el arrastre de ácidos húmicos y fúlvicos de los suelos y el agua superficial contendrá así de 5 a 100 mg./ litro de organohalogenados naturales. La mineralización de estos materiales cerrará este ciclo natural del cloro.

**La presencia del ión cloruro en plantas, madera, suelo y minerales hace que su combustión produzca inevitablemente compuestos organoclorados (incluyendo dioxinas y furanos).** Por consiguiente los incendios forestales, la quema de matorrales, malezas y hojas desprendidas de los árboles, así como los volcanes, producen cantidades significativas de dioxinas y furanos. Si, como ya se expresó más arriba, sólo la biomasa marina produce estimativamente cinco millones de ton./ año de clorometano, comparativamente las emisiones de este gas, debido a la actividad humana, del orden de 30.000 ton./año, son de escasa significación.

Se ha demostrado que se generan dioxinas y furanos en procesos y situaciones tan usuales como la combustión de leña o carbón en hogares domésticos, motores de gasolina, cigarrillos encendidos, fuegos naturales, producción de “compost” vegetal en la naturaleza, etc. Científicos

japoneses han detectado dioxinas y furanos en muestras de suelos formados hace 8000 años. También se han encontrado estas sustancias en capas de sedimentos de lagos finlandeses, acumuladas durante la Edad Media.

**El cloro, como componente de la sal, se encuentra presente en la sangre y tejidos de los mamíferos.** Los leucocitos de nuestro sistema inmunológico usan cloro para destruir los microorganismos invasores, mediante un mecanismo enzimático (mieloperoxidasa) que libera hipoclorito, conocido desinfectante. También forma parte del ácido clorhídrico, que tiene una participación vital en el proceso digestivo de los alimentos.

G. W. Gribble del Departamento de Química de Dartmouth College (Hanover) ha indicado que se conocen más de 2.600 compuestos organohalogenados producidos por la naturaleza, de los que más de **1.000 son organoclorados**. Muchos de estos productos son idénticos a los generados por el hombre: clorofenoles, cloroalcanos, policlorobifenilos, clorofluorcarbonados y dioxinas. Otros muchos poseen extraordinarias propiedades biológicas similares, por ejemplo, a la penicilina (cloroamfenicol, clorotetraciclina, clazamicina, pirrolomicina, etc.), morfina (epibatidina, 200 veces más activa producida por la rana *Epipedobates tricolor* del Ecuador) o la droga "taxol" contra el cáncer (prostaglandinas, spongistatina, etc.). Ciertas algas marinas producen telfairina, pesticida muy activo contra los mosquitos, y el hongo *Penicillium griseofulvum* produce el fungicida griseofulvina para defenderse de los hongos enemigos.

**Los compuestos organoclorados producidos por la naturaleza, juegan un rol muy importante en el equilibrio de la misma.**

## 7 - El Cloro en la salud

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 80% de las enfermedades infecciosas se transmiten mediante el agua. Según dicho organismo, más de tres millones de niños de menos de cinco años, mueren cada año a causa de enteritis imputables a la no desinfección del agua.

El cloro comenzó a emplearse, en gran escala, como desinfectante del agua para su potabilización, hace aproximadamente cien años. En 1.908 la ciudad de New Jersey comenzó a purificar diariamente 40 millones de galones de agua. Otras ciudades pronto se adhirieron y comenzaron a usar cloro para potabilizar el agua destinada al consumo de la población. Las muertes debido a enfermedades difundidas por el agua descendieron rápidamente.

Luego de la introducción del cloro en el suministro del agua potable en los E.U.A., los decesos debido a fiebre tifoidea cayeron de 25.000 en 1.900 a menos de 20 en 1.960 y virtualmente ninguno en la actualidad. Durante este período la mortalidad infantil disminuyó significativamente y el período de vida esperable aumentó de alrededor de 50 a 70 años.

*Es generalmente reconocido que la desinfección del agua destinada al consumo humano es uno de los avances más importantes sobre la salud pública; según algunos científicos es el descubrimiento médico más sobresaliente del siglo XX. La cloración del agua es el único sistema que garantiza que ésta llegue a nuestros hogares con las debidas condiciones sanitarias.*

No existen evidencias concluyentes para admitir que la cloración del agua deje en su seno cantidades de compuestos potencialmente dañinos para la salud como son los trihalometanos. En 1990, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer evaluó todos los estudios sobre riesgos potenciales para la salud del agua potable tratada con cloro, concluyendo que no puede ser considerada carcinogénica en los seres humanos. En opinión del Dr. H. Galal-Gorchev (OMS): *"Los riesgos asociados a los subproductos de la cloración del agua potable son extremadamente bajos comparados con el riesgo asociado a una desinfección inadecuada y desde el punto de vista de la salud pública la desinfección no deberá estar comprometida en el esfuerzo por controlar tales subproductos"*.

Sin embargo, en 1.991, un informe de la EPA (Environmental Protection Agency) de los EUA, basado en aquel preconcepto, fue el principio de una tragedia. Basándose en el mismo, autoridades de Perú decidieron suprimir la cloración del agua potable en Lima. Esto fue el origen de una epidemia de cólera que produjo más de 3.000 muertes y afectó a más de medio millón de

personas y varios países de América. La cloración del agua potable fue restituida en Lima y la EPA reconsideró su informe.

**El cloro y sus derivados tienen una importante aplicación en el área de la desinfección.** El hipoclorito (agua de lavandina) se lo utiliza habitualmente en la desinfección de material quirúrgico e instalaciones sanitarias, hospitalarias, piletas de natación. Garantiza protección contra virus tales como el SIDA y previene, según la OMS, del SARS.

**El Cloro es una materia prima básica para la fabricación de numerosos medicamentos,** estando o no presente en la droga final. El cloro participa en la síntesis del 85% de los medicamentos. En las listas de productos farmacéuticos de Alemania se mencionan 200 medicamentos importantes que contienen cloro y en las listas de la Sociedad Farmacéutica de Suecia más de 300 sustancias comercialmente activas contienen cloro.

Así, por ejemplo, el cloro forma parte de la molécula de antibióticos (Cloromicetina, Clorotetraciclina, Aureomicina, Cloroamfenicol,...), antihipertensivos (Clonidina), antimaláricos (Cloroquina), antimicóticos (Clorotrimazol), antihistamínicos (Clorfeniramina), antitusivos (Clobutinal), analgésicos (Clometacina), anticonvulsivos (Clonazepam), tranquilizantes (Clordiazepóxido), sedantes, preparados a base de alcaloides que contienen cloro en su fórmula y su utilización en forma de clorhidratos, para hacer asimilables al organismo los principios activos.

El cloro interviene en forma indirecta en la fabricación de numerosos fármacos, como por ejemplo, aceites y lubricantes de siloxanos (más conocidos como siliconas) utilizados como excipientes en pomadas antialérgicas, antibióticos para el tifus (ciproflaxina), sulfonamidas, penicilinas semisintéticas, síntesis de varias vitaminas, etc.

En relación con la salud humana se debe mencionar la contribución que a la misma realiza la medicina veterinaria a través del cuidado de la salud de las "mascotas" y de los animales y sus productos como huevos y leche. Muchos de los fármacos veterinarios reconocen caminos similares a los de uso humano, en cuanto a que en su fabricación el uso del cloro es un insumo importante.

**El cloro es también una materia prima básica para la producción de polímeros utilizados en aplicaciones médicas.** El policloruro de vinilo (PVC) se utiliza en la fabricación de tubos y bolsas para suero, plasma y sangre para transfusiones. Estudios realizados demuestran que el uso de este material en contacto con la sangre humana y el plasma, permite prolongar en un 30% la vida útil de estas sustancias biológicas, lo que constituye un aspecto muy importante para los bancos de sangre, unidades de cuidados intensivos y urgencias en los hospitales.

La utilización de envases y blisters de PVC y resinas barreras de cloruro de polivilideno, aseguran la conservación de numerosos productos farmacéuticos ante gérmenes, gases, olores y vapor de agua.

El cloro interviene también en la síntesis de resinas utilizadas en la producción de lentes blandos, cristales correctores, prótesis artificiales, estimuladores cardíacos, material para análisis, etc.

## **8 - El Cloro y la alimentación**

La agricultura proporciona el 97 % de nuestros alimentos, ya sea en forma directa o indirecta, a través del sustento diario que proporciona al ganado. La disponibilidad de los mismos depende de nuestra capacidad para garantizar el éxito de las cosechas y pasturas. Hoy día, más de una tercera parte de las mismas se malogra por enfermedades y depredadores, mientras la mitad de la población carece de una alimentación adecuada.

Se calcula que el 10% de las cosechas de cereales es víctima de la maleza, entre el 5 y el 15% de enfermedades y casi el 30% es destruido principalmente por insectos y también por roedores. Una densa nube de langostas es capaz de devorar en un solo día hasta 100.000 toneladas de vegetales.

**El cloro es la base de numerosos productos fitosanitarios que permiten evitar la destrucción de las cosechas por las enfermedades criptogámicas, roedores, insectos y la invasión de**

**malezas.** Es uno de los constituyentes de la nueva generación de protectores de cosechas que tienen la ventaja de ser selectivos, más fácilmente degradables y se utilizan en dosis menores. En la Comunidad Europea el 50% de los productos fitosanitarios registrados contienen cloro. Más de 170 pesticidas (un tercio del total en existencia) contienen cloro.

Gracias al cloro se pueden desinfectar los suelos utilizando nematocidas, luchar contra las enfermedades criptogámicas mediante funguicidas, proteger el crecimiento de las plantas mediante herbicidas selectivos y eliminar ciertos depredadores utilizando insecticidas.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), una cantidad importante de los recursos alimentarios y agrícolas producidos cada año en el mundo se pierden, después de la cosecha, por acción de agentes externos como insectos, mohos y la acción de la intemperie.

En los países industrializados la pérdida de estos recursos sólo afecta al 2% de los mismos, gracias a la utilización de almacenamientos y embalajes adecuados y al control estricto de la cadena de distribución bajo condiciones de conservación en frío (empleo de la nueva generación de agentes refrigerantes *hidroclorfluorocarbonos*, HCFC's).

También en este rubro, "*El cloro y los alimentos*", se deben mencionar dos polímeros que, conteniendo cloro en su estructura, cumplen un rol importante en la conservación de los alimentos, similar al describir el rol que cumplen en la protección de productos medicinales. Se trata del policloruro de vinilo (PVC) y el policloruro de polivilideno que se emplean como envases y filmes protectores, con excepcionales propiedades barreras.

El cloro se utiliza, además, en la fabricación de espumas de poliuretano y agentes refrigerantes, artículos que contribuyen a garantizar el almacenamiento y conservación de los productos frescos y congelados.

## 9 - El Cloro y el medio ambiente

Como se ha descrito en el capítulo 5, "*El cloro en la naturaleza*", se deduce que el cloro y derivados naturales del mismo tienen participación activa en el medio ambiente desde mucho antes que el hombre comenzara a desarrollarse sobre la Tierra.

Una vez conocido el cloro y sus propiedades, principalmente su gran reactividad, el hombre comenzó a investigar la amplia gama de posibilidades de uso que este elemento le ofrecía, a través de nuevos productos, para hacer su vida más saludable y confortable.

Así se desarrollaron los *clorofluorocarbonados* (CFC's) que aparecieron como el "milagro químico" ya que son sustancias no perjudiciales para la salud, no inflamables, no corrosivas y de bajo costo. En 1.930 comienzan a usarse en refrigeración, aire acondicionado, agentes esponjantes, solventes y propelentes de aerosoles. Hoy se reconocen sus efectos negativos sobre la capa de ozono estratosférica y a partir del Protocolo de Montreal (Setiembre de 1.987), firmado por 24 países, se acordó la regulación internacional de estas sustancias que llevaría paulatinamente a la eliminación de las mismas.

Como alternativa transitoria se han desarrollado los *hidroclorofluorocarbonados* (HCFC's) que además de los halógenos contienen hidrógeno en su molécula. Estas sustancias tienen mucha menor influencia sobre la capa de ozono que los CFC's y son necesarios como sustitutos de "primera generación" de los clorofluorocarbonados principalmente para equipos de refrigeración, aire acondicionado y como agentes de expansión para espumas aislantes. La "segunda generación" para reemplazar los CFC's son los *hidrofluorocarbonos* (HFC's) que no contienen cloro en su molécula, pero participa en su proceso de fabricación. Los HCFC's y los HFC's han sido desarrollados por tener todas las ventajas de los CFC's pero con un impacto ambiental mucho menor.

Los solventes clorados como el diclorometano o cloruro de metileno ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), tricloroetileno ( $\text{CCl}_2 = \text{CHCl}$ ), tetracloroetileno o percloroetileno ( $\text{CCl}_2 = \text{CCl}_2$ ), se usan para desengrasar metales,

limpieza en seco, extracción de productos alimenticios y farmacéuticos, limpieza de artículos de precisión y electrónicos, etc. El consumo de estos solventes viene declinando en los últimos años por que se emplea en forma más eficiente en circuitos cerrados con una mucho menor evaporación al medio ambiente y algunos de ellos se está dejando de producir. Sus gases no tienen efecto o es mínimo sobre la capa de ozono.

**¿Por qué los hidrocarburos alifáticos clorados se comportan de distinta manera en la atmósfera?** Primero tenemos que considerar que la atmósfera se divide en varias capas, las cuales de abajo hacia arriba se denominan *Troposfera*, *Estratosfera*, *Mesosfera*, *Termosfera*. La composición de la "troposfera" se mezcla bien por procesos de convección. La temperatura disminuye con la altitud hasta los 10-15 Km. y luego aumenta nuevamente. Esta inversión de la temperatura previene que ocurra una efectiva convección en la segunda capa por lo cual se "estratifica", de ahí su nombre de "estratosfera".

La estratosfera tiene la más alta concentración de ozono (8 ppm a una altitud de alrededor de 30 km.). Esta llamada "capa de ozono" absorbe la radiación ultravioleta de corta longitud de onda que proviene del sol y protege la Tierra contra sus efectos perjudiciales.

En la troposfera la mayoría de los compuestos clorados alifáticos reaccionan con bastante facilidad con el radical hidroxilo libre (HO), con alto poder oxidante, presente en la atmósfera. La reactividad de los distintos sustratos clorados no es la misma con el radical hidroxilo, la cual ha sido estudiada y determinada en laboratorio. Para los solventes clorados, cloruro de metileno, tricloroetileno y tetracloroetileno el período de vida en la tropósfera está en un rango de una semana a cinco meses y para los HCFC's es muy variable, de 18 meses a 20 años. Sólomente una fracción relativamente muy pequeña escapa a la estratosfera. Para los CFC's el período de vida en la tropósfera es infinito, porque sus moléculas no tienen una unión C-H o una doble ligadura y no reaccionan con el radical hidroxilo. Por lo tanto al no tener los CFC's ninguna reacción significativa, son inertes en este medio y transportados lentamente a la estratosfera donde su período de vida es del orden de 50 a 100 años.

Una vez que los CFC's llegan a la estratosfera, absorben radiación solar ultravioleta (que no alcanza la troposfera por efecto de la capa de ozono) y son fotolizados desprendiendo átomos de cloro que destruyen al ozono. Actúan también sobre la capa de ozono fenómenos naturales como la erupción del Monte Pinatubo en Filipinas que en 1991 inyectó cantidades masivas de ácido sulfúrico pulverizado en la estratosfera. Esto condujo a un aumento de la reducción de la capa de ozono en los años 1992-1993.

La reducción de la capa habría pasado por el peor momento alrededor del año 1998 y a partir de ahí se espera en pocos años una lenta recuperación como consecuencia de la regulaciones internacionales comprometidas.

Otro aspecto a considerar es el **calentamiento global** o el llamado "**efecto invernadero**". La radiación proveniente del sol es principalmente en el espectro visible y parte del ultravioleta. Algo es absorbido por la atmósfera, otra parte es reflejada por las nubes y la superficie de la Tierra, pero la mayoría es absorbida por ésta. La Tierra reemite radiación, pero en una longitud de onda mucho más larga – en el infrarrojo – la cual es absorbida en parte por gases (dióxido de carbono, metano, óxido nítrico) y vapor de agua presentes en la atmósfera. Este fenómeno hace que las partes bajas de la atmósfera y la superficie de la Tierra se calienten suavemente. Si la atmósfera no tuviese los componentes mencionados, la temperatura promedio de la Tierra sería de alrededor – 18 °C en lugar de +15°C.

Los componentes del efecto invernadero han incrementado su concentración en la atmósfera desde los comienzos de la era industrial. Los principales actores son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (55%) y el metano (CH<sub>4</sub>) (18%). La participación de los HCFC's y otros compuestos alifático clorados es mucho menor (2%).

**Formación de ozono en la baja atmósfera.** La emisión de compuestos orgánicos a la atmósfera pueden ser una contribución a la formación de ozono cerca de la superficie de la tierra, lo cual es indeseable porque esta sustancia es un gas irritante. La formación de ozono es particularmente severa en áreas urbanas muy soleadas, particularmente en verano. Alta concentración de

compuestos orgánicos y óxidos de nitrógeno provenientes de los vehículos y otras fuentes de combustión, fotolizados por la luz solar, son mayor actividad en la generación del ozono urbano que los clorados. La relativa mayor larga vida de los compuestos alifáticos clorados, comparativamente a los no clorados, les proporciona más tiempo a los primeros para ser dispersados lejos de la fuente de emisión y participar así en mucha menor escala en la formación del ozono en las ciudades.

**Lluvia ácida.** Aunque los hidrocarburos alifáticos clorados y fluoroclorados rompen su estructura en la atmósfera, por mecanismos muy complejos, para dar productos ácidos (ClH; FH; CO<sub>2</sub>) que son arrastrados por el agua de lluvia, su contribución a la "lluvia ácida" es en realidad muy pequeña. Las principales contribuciones a la acidez del agua de lluvia, en una escala global, son los ácidos nítrico y sulfúrico que provienen tanto de fuentes naturales como de la acción del hombre.

**Blanqueo de las pulpas para papel.** La llamadas "pulpas químicas" se usan para fabricar papeles de alta calidad que requieren un alto grado de brillo, alta resistencia mecánica y larga vida. Para lograrlo se debe eliminar la lignina coloreada formada por compuestos aromáticos remanentes en la pulpa luego de la cocción y para ello es necesario un tratamiento blanqueante ya sea con cloro (Cl<sub>2</sub>), dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>) o hipoclorito de sodio (ClONa). Los efluentes de estos tratamientos contienen un 10% de compuestos orgánicos, parte de los cuales podrían implicar riesgos para la salud humana, aunque es difícil establecer si la ecotoxicidad de estos efluentes es debida al cloro.

Sin embargo la industria del papel realizó una profunda investigación científica para estudiar la influencia del cloro en la ecotoxicidad de los efluentes. Los investigadores en su informe final (Enero 1993) establecen que "no hay razón para eliminar el cloro totalmente de la industria del papel y la pulpa". Muchos fabricantes de pulpa química en los EUA y en Canadá han sido evaluados en profundidad y no se han encontrado efectos significativos sobre los peces y otros organismos acuáticos en su área de influencia. Tampoco los gases desprendidos producen efectos adversos sobre la atmósfera.

Estos logros han sido alcanzados mediante el empleo de procesos mixtos que involucran el empleo de oxígeno, ozono y agua oxigenada, sin abandonar el uso del cloro, en los procesos de las pulpas celulósicas para papeles. Los procesos que emplean cloro o derivados como agentes de blanqueo producen papeles blancos de mejor contraste para las tintas y materiales de impresión.

**Dioxinas.** El nombre genérico de dioxinas se refiere a dos familias de compuestos aromáticos tricíclicos clorados, con propiedades químicas similares. Una de ellas integrada por 75 miembros derivados del policloro dibenzo para dioxinas (PCDD's) y otra constituida por 135 miembros derivados del policloro dibenzo furanos (PCDF's). Todos son productos sólidos, con puntos de fusión y ebullición altos. Son solubles en lípidos, con muy limitada solubilidad en agua y baja presión de vapor. De los 210 tipos conocidos, solamente 17 están considerados con distintos grados de toxicidad. La mayoría de los países europeos han adoptado un valor de ADI (Allowable daily intake – Ingesta diaria tolerada) de 1-10 pg / Kg. de peso corporal para el 2,3,7,8 TCDD, el compuesto más tóxico dentro de estos grupos. El 2,3,7,8 TCDF es también tóxico. (pg: picogramo = 1/1.000.000.000.000 gr.).

Siendo las dioxinas solubles en lípidos, se encuentran principalmente en la carne bovina y ovina, productos lácteos, pollo, porcino, pescado y huevos, en este orden. Según la Organización Mundial de la Salud la exposición humana a las dioxinas ingresa con la dieta diaria de alimentos (90%). Se considera que las medidas adoptadas para controlar la liberación de dioxinas han reducido sustancialmente la ingesta diaria de estos compuestos a través de los alimentos, a niveles que no son preocupantes para la salud humana.

Las principales fuentes de generación de dioxinas son los procesos de combustión, como la incineración inadecuada de los desperdicios municipales que puede ser tecnológicamente mejorada bajo el cumplimiento de la regla de las "tres T":

- Temperatura por encima de 850° C.
- Tiempo de residencia.
- Turbulencia mejorada por la geometría del horno e inyección secundaria de aire.

Todo tipo de incineración de materia orgánica, desde quemar basura hasta los incendios forestales, pasando por la calefacción con “hogares a leña” y quemado de desechos de poda o jardín, son generadores de dioxinas.

Las industrias metalúrgicas y de cemento también aportan dioxinas al medio ambiente.

Resumiendo, cualquier materia prima de origen natural que contenga sustancia orgánica y cloro en su composición, puede generar dioxinas cuando en los procesos no se alcanzan las condiciones de descomposición de las PCDD's y los PCDF's. La responsabilidad de los compuestos orgánicos creados por el hombre en la generación de dioxinas es, en la actualidad, de mucha menor significación que la que pueden atribuirse a los casos brevemente mencionados. Esto no significa que la industria del cloro se despreocupe del cuidado del medioambiente, ya que generalmente las políticas medioambientalistas de las empresas que producen cloro o emplean cloro en sus procesos (por ej. fabricación de PVC, papel, etc) tienen límites de exposición y control de efluentes (gases y líquidos) más estrictos que las legislaciones de los medios en los que desarrollan sus actividades.

## 10 - El Cloro y la seguridad

Los conceptos de *peligro*, *riesgo* y *seguridad* deben ser cuidadosamente empleados porque son la llave para decisiones políticas y técnicas con impactos significativos sobre la salud humana, la integridad del medio ambiente y temas socio-económicos. Estos conceptos no bien interpretados pueden distorsionar la información y conducir a decisiones injustificadas, responsables de caros errores en las políticas de inversión.

**El peligro** está ligado a las propiedades intrínsecas de una sustancia, tal como es su capacidad de reaccionar en diferentes medios y circunstancias. El peligro inherente en un producto es identificado a través del estudio de sus propiedades químicas y físicas y evaluando su toxicidad, es decir los efectos excesivos, perjudiciales o indeseables que puede tener. Generalmente, tales efectos aumentan con el tamaño de la dosis, pero hay un umbral por debajo del cual no se observan consecuencias no deseadas.

Desde un punto de vista muy general puede observarse que los compuestos químicos que realmente presentan problemas para el medio ambiente son principalmente aquellos que agrupan tres características simultáneas: *persistencia* en el medioambiente debido a una condición inherente de muy baja degradabilidad química y biológica; *bioacumulación* debido a su muy alta compatibilidad con los lípidos y pobre solubilidad en agua y *toxicidad* por encima de un determinado umbral. Sólo un muy limitado número de familias de compuestos exhiben esta trilogía, entre ellos algunos polihalogenados aromáticos incluyendo pesticidas (DDT), policlorobifenilos (PCB's) y dioxinas, todas clases de sustancias hoy día razonablemente bien identificadas y reglamentadas.

La nafta es peligrosa principalmente a causa de su inflamabilidad, o el benceno, el asbesto, el arsénico y cloruro de vinilo son peligrosos porque, por encima de ciertos niveles de exposición, pueden provocar un incremento de la incidencia del cáncer. Pero eso no determina que no manipulemos un envase cerrado conteniendo compuestos de arsénico, benceno o cloruro de vinilo o saquemos la tapa del tanque de nafta del auto, porque mientras los productos peligrosos se mantengan en condiciones adecuadas y controladas, no hay riesgos significativos.

El párrafo anterior introduce el concepto de *riesgo*, el cual puede ser definido como la probabilidad de exposición a un peligro de una amplitud dada. Es muy poco lo que se puede hacer para alterar las propiedades que hacen que una sustancia sea peligrosa, pero hay a menudo formas por las cuales el riesgo de exposición al peligro puede ser reducido y controlado. Esto se logra tomando precauciones de seguridad, por ejemplo, durante la producción, mediante el uso de equipos, vestimentas y calzados de seguridad adecuados; efectuando el almacenamiento, transporte de los productos con envases y medios eficaces que impidan la contaminación del medioambiente y fundamentalmente capacitando al que produce, al transportista y al usuario.

**El análisis de riesgo involucra la evaluación de la exposición.** La exposición da una idea de magnitud en cantidad, tiempo y espacio de la acción de las diferentes productos considerando

sus niveles de emisión, el destino de los mismos en el medio ambiente (dispersión, dilución, degradación...) y la capacitación para el manipuleo. Está claro por ej. que un trabajador bien entrenado, con el equipamiento apropiado, estará expuesto a un menor riesgo manipulando cantidades importantes de soda cáustica, que un ama de casa tratando de destapar la piletta con la misma sustancia sin el debido cuidado y conocimiento. Consideremos otro ejemplo, la vida acuática puede ser localmente afectada por algún producto en un sector de un río, mientras que a nivel regional no serían esperables efectos perjudiciales a causa de la dilución, degradación o evaporación de dicha descarga. No obstante, el alto riesgo de exposición local debe ser evitado.

***Para evaluar seguridad y decidir lo que es aceptable, los riesgos deben compararse con los beneficios que involucra.*** En el delicado proceso de sopesar los pro y contra de esta evaluación los criterios técnicos y científicos no son los únicos a considerar, también deben ser tenidos en cuenta aspectos socio económicos, políticos, culturales y éticos.

En vísperas de la Segunda Guerra Mundial, el químico suizo Herman Müller descubrió el DDT (diclorodifeniltricloroetano), muy tóxico para el sistema nervioso de los insectos pero casi inofensivo para los seres humanos, por el cual recibió el premio Nobel en 1948. En 1970 la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos exponía en un informe: *“a pocas sustancias químicas el hombre le debe tanto como al DDT”*, considerando que esta sustancia había prevenido muchos millones de muertes por paludismo, que de otra manera hubieran sido inevitables. Dos años más tarde Estados Unidos prohibió su uso en la agricultura y la mayor parte de los países desarrollados hicieron lo mismo. ¿Que había pasado?

Durante la Segunda Guerra Mundial el DDT fue intensamente usado por los ejércitos aliados para protegerlos de los piojos. En 1944 toda la ciudad de Nápoles fue fumigada con este insecticida para terminar con una epidemia de piojos portadores de tifus. Por la misma época había aún 50.000 casos de malaria en países como Italia, España o Turquía y más de 100 millones de casos en la India. En el momento de la prohibición del empleo del DDT la malaria había sido erradicada de Europa y *“solamente”* un millón de casos eran declarados en la India.

Mientras el DDT se usaba eficazmente en la lucha contra el paludismo, los agricultores lo empleaban en grandes cantidades para combatir los insectos que dañaban sus cultivos. Esto constituyó una probable amenaza ambiental, ya que pronto se descubrieron rastros de DDT en el tejido adiposo de todos los seres vivos, desde los humanos hasta los osos polares y los albatros. Su persistencia y acumulación, aumentó la posibilidad de que el insecticida era causante de la disminución de varias especies de aves silvestres debido al deterioro observado en la cáscara de sus huevos.

El DDT fue sospechado durante mucho tiempo de ser causante de cáncer de mama. Aunque no todas las hipótesis han sido clarificadas hoy día, varios estudios conducidos por organizaciones científicas han establecido que no hay nada que permita establecer que hay una relación entre la eventual acumulación de DDT en la mujer y el cáncer de mama.

El uso del DDT en grandes cantidades y sin control ya no es una técnica permitida, pero aún en varios países se lo emplea para combatir el paludismo. Las cantidades necesarias son mucho menores que las que se empleaban en la agricultura. Unos pocos miligramos a dos gramos de DDT por metro cuadrado fumigados sobre la pared de una casa (*la cantidad de DDT fumigado varía de acuerdo al tipo de construcción*), son suficientes para mantenerla libre de mosquitos transmisores de la malaria.

Para evitar que la malaria vuelva a desarrollarse en muchas regiones del mundo es necesario un balance riesgo / beneficio que evalúe cuidadosamente la elección de cualquier alternativa al DDT o simplemente las condiciones bajo las cuales éste puede ser empleado sin riesgos. *Nuevamente interpretando a Paracelsus, podemos expresar en nuestros días: que los productos no son ni buenos ni malos, dependen de cómo se utilicen.*

El concepto de riesgo cero no existe (*riesgo cero = cero progreso*), ya que la propia condición de seres vivos implica estar sometidos a una determinada incertidumbre. En realidad, cualquier acción o actividad humana implica una cierta cantidad de riesgo y paradójicamente el mayor riesgo provendría de no hacer nada para preservar o mejorar las condiciones de vida.

La aceptación de la condición de riesgo ha permitido a la ciencia y a la tecnología aportar permanentemente nuevos conocimientos, para que la actividad del hombre se desarrolle cada día en forma más compatible con el concepto que la sociedad tiene sobre seguridad. Consecuente con este criterio, la industria química en general y la de producción de cloro y sus derivados en particular han dispuesto en sus instalaciones y procesos modernos sistemas de control y protección para la salud humana y el medioambiente.

## **11 - Conclusiones**

El cloro, como otros elementos, tiene ciertos riesgos que la industria asume y actúa en consecuencia reduciéndolos a niveles compatibles con la vida y proporcionando beneficios. El balance riesgos/ beneficios de la industria del cloro es claramente positivo: □

- Protege nuestra salud.
- Protege y aumenta las cosechas.
- Protege los alimentos.
- Proporciona bienestar y calidad de vida.
- El impacto sobre el medio ambiente es mínimo.
- Es una de las industrias que más se preocupa en seguridad.
- Es necesario e insustituible en muchos casos.
- Genera riqueza y empleo.

## APÉNDICE

### Toxicidad del cloro (Cl<sub>2</sub>) a varios niveles de concentración y tiempos de exposición

| Concentración (ppm) | Tiempo de exposición | Riesgos                         |
|---------------------|----------------------|---------------------------------|
| 0.3 - 1             | ...                  | Detección por el olfato         |
| 1                   | 8 horas              | Sensación de falta de confort   |
| 4                   | > 1 hora             | Clara falta de confort          |
| 10                  | < 1 hora             | Dificultad para respirar        |
| ...                 | 1 hora               | Inflamación bronquial           |
| 30                  | > 10 min             | Tos y peligro de edema pulmonar |
| 50                  | Corto                | Edema pulmonar                  |
| ...                 | 1 hora               | Muerte                          |
| 500                 | 5 minutos            | Muerte                          |
| 1.000               | Instante             | Muerte con edema                |
| 10.000              | Instante             | Muerte sin edema                |

Nota : El cloro (Cl<sub>2</sub>) es peligroso desde las 30 ppm. El máximo sin consecuencias es 1 ppm.

# Fabricación cloro y soda cáustica

