

V E N E N O S Q U I M I C O S

EL CLORO Y LA CONTAMINACION DE NUESTRO ENTORNO

Núria Ferrer *

«¿Quién ha decidido —quién tiene derecho a decidir— en nombre de legiones sin cuento de personas que no han sido consultadas, que el supremo valor corresponde a un mundo sin insectos, aunque tenga que ser un mundo estéril, privado de la gracia de unas alas en vuelo? Esa decisión es la del autoritarismo, temporalmente revestido de poder, y ha sido tomada durante un momento de distracción de millones de individuos para los que la belleza y el orden de la naturaleza en el mundo tienen aún significado profundo e imperativo»

*Rachel L. Carson
Primavera Silenciosa*

No hace muchos años el ser humano vivía atemorizado por el contagio de enfermedades infecciosas que eran capaces de arrasarse naciones enteras, y plagas que podían devastar extensas áreas cosechadas. Enfermedades como la malaria, la peste, el tifus, el cólera hacían sus estragos mientras la población contemplaba impotente o resignada como desaparecían vidas y cosechas. Las condiciones insalubres o higiénicamente deplorables en ciertos núcleos urbanos eran las responsables de una alta mortalidad y baja calidad de vida. Después, en algunas zonas del mundo, vino el bienestar: las drogas, vacunas, desinfectantes y plaguicidas para controlar enfermeda-

des, evitar su propagación a través de los insectos y contribuir a un saneamiento general. Nos acostumbramos a vivir con ellos y los incorporamos a nuestra ecosfera sin plantearnos ningún tipo de inquietud. Los resultados eran tan espectaculares y el confort y bienestar tan atractivos que su utilización masiva creció exponencialmente. Sólo algunas voces se alzaron criticando algunos programas, como el de las pulverizaciones con plaguicidas a finales de los años cincuenta como describe Rachel Carson en su libro *Primavera Silenciosa*. Quizás algunos podían intuir que aquello no formaba parte del ciclo natural. Pero continuó la fiesta. Se derrochó, se malgastó y se subestimó. Las voces de protesta fueron acalladas por una industria floreciente que prometía abrirse camino a paso rápido en una sociedad cada vez más consumista. Y empezamos a escalar hacia un mundo cada vez más limpio, en el que no faltaba el plaguicida para el geranio de la ventana, los medicamentos a punto para combatir cualquier pequeño inicio de dolencia, las lejías, sulfomanes y demás productos domésticos que eran esparcidos a diario, y en general, la creencia de que cuantos más productos consumíamos y utilizábamos para sanear, más desarrollados nos volvíamos.

Pero detrás de todo este consumo urbano, detrás de cada producto consumido, y por tanto vertido al medio, se encuentra una industria que genera toneladas de resi-

* Centre d'Ecologia i Projectes Alternatius. Jacint

Verdaguer, 48. 08750 Molins de Rei.

duos procedentes precisamente de la producción de estos «bienes» de consumo.

Y llegamos a fin de siglo mirando atónitos e incrédulos a todo lo que hemos producido. Ahora el temor es ante la gran cantidad de sustancias sintéticas que hemos creado. Además el cólera arrasa Sudamérica, aparecen nuevas enfermedades como el Sida, aumenta el número de fallecimientos por cáncer y la miseria se extiende entre las capas sociales más bajas de nuestra moderna sociedad. La esperanza y la calidad de vida en ciertos sectores marginales del mundo «desarrollado» es menor que la de algunos países subdesarrollados del África.

Hemos llegado al final del siglo XX con montañas de residuos de plásticos, plaguicidas y sustancias de las que no sabemos como librarnos, ya que la tecnología no ha llegado a tiempo para resolver el problema.

Debemos aceptar que la química ha conseguido grandes logros en favor de la humanidad, pero también que ha causado un gran impacto negativo en el medio ambiente.

Uno de los ejemplos más gráficos ha sido el concerniente a los compuestos de cloro. El cloro es uno de los veinte elementos más abundantes de la tierra. Se encuentra en grandes cantidades en el mar, en la corteza terrestre, formando parte de los seres vivos. Su forma más corriente es como sal de cloruro sódico, o lo que llamamos sal común.

Carl Wilhelm Scheele fue el primero que preparó el cloro en estado libre en 1774 por la acción de ácido clorhídrico sobre dióxido de manganeso. Scheele creyó que el gas era ácido muriático sin flogisto. En aquella época se creía que el ácido muriático era un compuesto que contenía oxígeno, y se pensó que el cloro era un compuesto oxigenado, hasta que un químico inglés —Davy— demostró en 1810 que era un elemento. Un químico francés colega de Scheele, Claude-Louis Berthollet, descubrió las propiedades decolorantes del cloro y, de hecho, la utilización del cloro como blanqueante en la industria textil se debe a él.

Debido a su gran reactividad química el cloro no se encuentra libre en la naturaleza sino combinado con sodio, potasio, magnesio y otros metales.

El cloro empezó siendo uno de los residuos producidos a finales del siglo pasado como producto de reacción en la obtención de la sosa. La sosa se fabricaba comercialmente partiendo de la sal común, agua y mediante una corriente eléctrica, lo cual producía sosa, cloro e hidrógeno. En esta reacción de electrólisis, las cantidades de cloro producidas eran parecidas a las de sosa, y una de las metas de este proceso fue la de dar salida a este producto barato y que suponía un residuo. Hacia los años 30 ya se utilizaba el cloro como blanqueante, desinfectante, para producir PVC, plaguicidas, etc.

El efecto decolorante del cloro viene causado por la acción del ácido hipocloroso, oxidante y muy activo. Como blanqueante se ha utilizado mucho en la industria del papel y del textil. El sector de la pasta del papel produce un enorme impacto en el medio ambiente por causa de los vertidos de cloro y organoclorados. Estos vertidos suponen en España entre 10.000 y 30.000 kg de organoclorados cada día.¹

Dentro de este sector cabe destacar la factoría Sarrió en medio del barrio de Montañana (Zaragoza) conocida por sus vertidos a la atmósfera y al río Gállego y la Torras en Sarriá de Ter (Girona) que ha causado diversos problemas por vertidos al río.

A pesar de que en algunos países como Suecia se ha forzado a la industria relacionada con las celulosas a dejar de utilizar cloro como blanqueante, en la mayoría de los países los habitantes no tienen opción a elegir el tipo de celulosa que desean, y a menudo la única alternativa son los productos blancos en cuyo procedimiento se ha utilizado cloro. De esta manera las industrias que producen celulosas vierten sus residuos de cloro al medio y el ciudadano, además de no tener opción a elegir el producto sin tratamiento con cloro, debe ser solidario

¹ Contaminación por productos tóxicos en las costas mediterráneas españolas. *Informe Greenpeace* ma-

con los residuos generados por este tipo de industria y aceptar los métodos que se proponen para darles salida.

Otra de las grandes aplicaciones del cloro desde hace mucho tiempo ha sido la de desinfectar las aguas, ya que puede matar a las bacterias por su efecto oxidante. El procedimiento de cloración de las aguas ha sido muy criticado, ya que el cloro puede combinarse con otras moléculas dando compuestos no deseables y cancerígenos. Estos compuestos suponen cientos de sustancias que no pueden ser todas controladas y que contribuyen al riesgo de toxicidad de las aguas potables. Hay otros procedimientos alternativos, pero normalmente la economía prima sobre otros aspectos.

También la guerra química hizo uso del cloro libre y compuestos clorados. Durante la primera Guerra Mundial el cloro fue utilizado por los alemanes en Bélgica contra las trincheras inglesas. Algunos de los gases que contienen compuestos de cloro y que se utilizan como armas químicas son entre otros: los gases asfixiantes que irritan y dañan los pulmones, como el fosgeno; los líquidos de evaporación lenta que producen quemaduras, como el gas mostaza; los gases lacrimógenos que causan escozor de ojos, como la cloroacetona; los gases estornudatorios, etc.

Algunas de las industrias productoras de cloro en Catalunya son Ercross (Flix), Energía e Industrias Aragonesas (Vilaseca) y Solvay (Martorell) con capacidades entre 100.000 y 200.000 Toneladas/año.

Hablar de la química del cloro implica a veces utilizar de manera prepotente un lenguaje muy específico que sólo es comprensible por un cierto sector de profesionales dedicados a campos relacionados con la química, y por otra parte, y como consecuencia de la primera, una cierta sumisión por parte de muchas personas ante un tema casi inalcanzable. La verdad es que se ha hecho poco por acercar estos conocimientos a la población y se mantienen los altos tecnicismos que muchas veces podrían traducirse de manera muy simple. Todos somos especialistas en nuestro campo y nadie tiene derecho a ampararse en esta especialidad para menospreciar las dudas y temores de ciertas personas ante unas disciplinas

desconocidas para ellas. Y lo que es peor, a manipular la información y tergiversar los conceptos para mostrar que no hay otra alternativa a la que ha sido propuesta por parte de la tecnología que vende o que está de moda en un momento determinado.

Así cuando aparece la palabra 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8-dibenzo dioxina tetraclorada) que aún sobresalta a tecnócratas y no tecnócratas relacionados de alguna manera con industrias que generan estos productos, y cuyo sobresalto viene causado por el hecho de que la población está informada sobre las consecuencias que estas moléculas causaron en Seveso y de su carácter cancerígeno, mutágeno y teratógeno reconocidos mundialmente, parece que se está hablando de algo demasiado complicado. En realidad es algo tan sencillo como una molécula formada por carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro, enlazados de una determinada manera, y los números y las siglas sólo indican el número de átomos de cada elemento, como están enlazados y su posición en la molécula.

Cuando los habitantes del Pla de Santa Maria (Alt Camp) y Tona (Osona), en Catalunya, a los que les tocaron sendas plantas incineradoras de residuos industriales y urbanos respectivamente, protestaron utilizando las emisiones de 2,3,7,8-TCDD que emiten las incineradoras como argumento contrario a su instalación, fueron acusados de ignorantes y alarmistas por parte de personajes de la administración y científicos cuya relación con estas instalaciones o con la administración misma no podría clasificarse de neutral. Precisamente no fueron ni la administración ni estos científicos los que informaron de la existencia de estos compuestos y sus problemas de impacto ambiental. Aunque los habitantes del Pla de Santa Maria ganaron la batalla y los de Tona la perdieron, el paso del tiempo les está dando la razón a estos últimos por el mal funcionamiento de la planta incineradora. Lo más grave de todo esto es que nadie en este momento puede afirmar que es posible controlar las emisiones de 2,3,7,8-TCDD, ya que lo único que se puede afirmar sobre estos compuestos es que se forman en procesos de combustión y que tienen una toxicidad muy acusada.

Para mostrar un poco la problemática relacionada con la química del cloro, citaré algunos de los ejemplos más conocidos a nivel mundial con algunos casos cercanos de problemas sociales relacionados con compuestos que contienen este elemento. En concreto comentaré los problemas de la capa de ozono, de los cloruros de polivinilo (PVCs), de los plaguicidas orgánicos sintéticos, de las dioxinas y furanos, y de los bifenilos policlorados (PCBs).

LA CAPA DE OZONO

A diferencia del oxígeno que respiramos y que está formado por sólo dos átomos de oxígeno, el ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno. El ozono en la troposfera (parte de la atmósfera que se extiende desde la superficie de la tierra hasta unos 10 Km) es considerado un compuesto tóxico para los seres vivos.

Uno de los efectos de concentraciones elevadas de ozono en la troposfera es su contribución a la formación del smog fotoquímico, el smog típico de Los Angeles. Por esta razón es considerado un contaminante en esta parte de la atmósfera.

Pero el ozono es una parte esencial de la estratosfera. Concretamente a unos 22 Km de la superficie de la tierra se encuentra una capa de ozono de unos 2-3 Km de espesor y con una concentración de unos 3.000 billones de moléculas de ozono por centímetro cúbico de aire. Esta capa de ozono tiene la función de filtrar las radiaciones ultravioletas del sol que serían letales para la biosfera en caso de que llegaran a la superficie de la tierra. Una pequeña disminución de la concentración de ozono en la estratosfera puede producir entre otras enfermedades cáncer de piel y cataratas en los seres humanos y animales. También las cosechas son afectadas al recibir esta radiación ultravioleta del sol. Pero esta radiación no sólo puede afectar a los seres vivos que habitan en la litosfera, sino que también puede penetrar en el mar afectando al plancton y mi-

croorganismos que son la base de la cadena trófica para muchos animales marinos.

Los culpables de la disminución de la capa de ozono son los halocarburos, cloro-fluorocarbonados (CFCs) o freones, sustancias antropogénicas con un largo historial. Aunque desde hace sólo pocos años hemos empezado a comprender aterrados el daño que pueden causar estos contaminantes en la capa de ozono, estos efectos ya eran conocidos desde el año 1973 cuando el químico Mario Molina durante sus estudios postdoctorales y dirigidos por Sherry Rowland en la Universidad de California en Irvine, descubrió que los CFCs destruían el ozono estratosférico.

La historia de los CFCs empieza a finales de los años 20, cuando fueron sintetizados por primera vez. Eran compuestos formados por átomos de carbono, flúor y cloro, no tóxicos e inertes, es decir, que no reaccionaban fácilmente con otras sustancias. Debido a que se evaporaban a bajas temperaturas, se aplicaron como refrigerantes en neveras y gases propelentes en esprais. También se utilizaron en la fabricación de plásticos espuma debido a sus propiedades como aislantes. Y lo que acababa de hacerlos ideales eran la simplicidad y bajo coste de su fabricación. Así pues los CFCs eran perfectos y se utilizaron durante más de 40 años sin ningún tipo de problema, hasta que Molina y Rowland publicaron su descubrimiento en la revista *Nature* el 28 de enero de 1974. En aquel año la producción mundial de CFCs era de casi un millón de toneladas anuales y la empresa Du Pont era el mayor productor mundial.² El proceso de degradación del ozono por causa de los CFCs se produce precisamente por su gran estabilidad en la atmósfera, cualidad que les hizo dispersarse por todo el mundo. Los CFCs tardan unos 8 años en alcanzar la estratosfera, y una vez allí puede permanecer en ella unos 100 años. Las moléculas de CFC que llegan a altitudes superiores a 25 Km, es decir que pueden atravesar la capa de ozono, reciben el impacto de la luz ultravioleta que el ozono se encargaba de filtrar.

² Sharon L. Roan. *Ozone Crisis*. Wiley 1990.

Esta luz ultravioleta rompe los CFCs dejando átomos de cloro libres que reaccionan con las moléculas de ozono robándoles un átomo de oxígeno y formando radicales libres de monóxido de cloro (ClO). Estos radicales se caracterizan por su gran reactividad. Cuando esta molécula encuentra un átomo de oxígeno libre, se siente atraída por él y se separa para formar una molécula de oxígeno (O₂) volviendo a quedar el átomo de cloro libre para poder provocar otra ruptura en otra molécula de ozono. De esta manera un simple átomo de cloro puede llegar a romper 100.000 moléculas de ozono antes de perder su actividad o volver a la troposfera.

Después de unos años del descubrimiento de Molina y Rowland, en el año 1978, fue prohibido el uso de CFCs en aerosoles en Estados Unidos. Pero se continuaron fabricando y utilizando CFCs en el resto del mundo. La política, las presiones económicas y la confusión científica hicieron que durante los años siguientes se subestimaran los efectos que pudieran tener los CFCs en la capa de ozono. La administración Reagan propuso la utilización de gafas de sol y crema solar como plan de protección personal en vez de buscar regulaciones serias para la reducción de CFCs.³

En el año 1984 Rowland se lamentaba de que después de 10 años del descubrimiento no estuviera previsto hacer nada sino aparecían los primeros síntomas de un desastre. Pocos meses más tarde Joe Ferman del Servicio Británico de Exploración Antártida publicaba un descubrimiento insospechado: el ozono atmosférico en la Antártida había disminuido en un 40%. La teoría de Molina y Rowland había resultado tristemente un éxito.

Actualmente la destrucción media acumulada en todo el planeta es entre un 5 y un 6 % con independencia del fenómeno antártico y ártico, y la causa es el cloro acumulado en la estratosfera y proveniente de los CFCs⁴.

A pesar de que existen acuerdos para la no utilización de CFCs con posterioridad al año 2000, será necesario esperar otros 100 años para que estos compuestos dejen de estar presentes en la estratosfera.

CLORURO DE POLIVINILO (PVC)

Los polímeros forman un conjunto de compuestos químicos que se ha desarrollado enormemente en los últimos años. Entre ellos el PVC es uno de los más problemáticos precisamente por su contenido en cloro.

El PVC se obtiene a partir de gas natural o nafta. Este se convierte en etileno y posteriormente se clora, produciéndose el monómero de cloruro de vinilo. Estas moléculas de monómero pueden ensamblarse entre sí y producir el cloruro de polivinilo.

La producción de PVC en los Estados Unidos es de casi 4 millones de toneladas anuales y supone aproximadamente una sexta parte de la fabricación total de plásticos.

En Europa se calcula que el porcentaje de cloro utilizado en los años 89/90 para la fabricación de cloruro de vinilo y PVC era del 34%, siendo el porcentaje más alto de cloro utilizado para la fabricación de compuestos clorados.⁵

El cloruro de vinilo en su forma de monómero fue utilizado como propulsor en esprais para el pelo e insecticidas durante muchos años. Después de que su uso fuera ampliamente difundido se descubrió que podía ser cancerígeno. Los trabajadores expuestos a altas concentraciones de cloruro de vinilo durante su fabricación, sufrían angiosarcoma, que es un tumor que aparece en los vasos sanguíneos del hígado. Es un tipo de cáncer no usual, y por esta razón pudo asociarse fácilmente a personas expuestas al cloruro de vinilo.⁶

Por esta causa es muy importante controlar las posibles emisiones de monómero de

³ Ibid. pág. 202.

⁴ Javier Cacho, *La Vanguardia*, 13 abril 1992.

⁵ Ann Link, «Chlorine, pollution and the parents of tomorrow», *The Women's Environmental Net-*

work. London 1991. pág. 10.

⁶ Derek Elson. *Atmospheric Pollution*. Blackwell. Oxford 1987. pág. 60.

cloruro de vinilo en la producción de PVC.

Los usos del PVC han sido muy amplios hasta ahora. Podríamos destacar entre sus utilidades: el embalaje, botellas de bebidas, cubrimiento de suelos, cañerías, muebles de exterior, material de oficina, etc.

Debido a que el monómero cloruro de vinilo también puede encontrarse como compuesto traza en el producto final de PVC, y por tanto pasar a alimentos y bebidas contenidos en envases fabricados con este tipo de plásticos, es necesario controlar esmeradamente su concentración en estos productos. De hecho los límites permitidos de monómero en el polímero han ido bajando con los años.

Pero el verdadero problema de los PVCs empieza cuando pasan a formar parte de los residuos urbanos o industriales, teniendo en cuenta que sólo se recicla un 1% del PVC desechado por los consumidores.⁷

Su recogida y recuperación es muy difícil ya que este polímero se encuentra en una gama de productos muy amplia. Además el material reutilizado no debe utilizarse en la fabricación de productos que estén en contacto directo con alimentos o bebidas. Por tanto la mayor parte del PVC pasa a formar parte de las montañas de residuos que van a parar a vertederos y plantas incineradoras. Y es precisamente en estas últimas donde se producen verdaderos problemas de impacto ambiental.⁸

La incineración de PVC produce ácido clorhídrico (HCl) que se emite a la atmósfera a través de la chimenea de la planta incineradora. Aunque hay sistemas para lavar los gases y evitar la salida de este ácido, estos lavadores o scrubbers son sistemas caros y que requieren un espacio entre el electrofiltro (sistema para depurar partículas que salen junto con los gases) y la chi-

menea. Las plantas incineradoras de basuras urbanas en Catalunya, no poseen estos sistemas de lavado, aunque algunas de ellas son de reciente puesta en marcha, como la de Tarragona. Las previsiones para instalar estos sistemas de depuración son del orden de 1.500 millones de pesetas para la planta incineradora de Sant Adrià de Besòs y 500 millones de pesetas para la planta incineradora de Montcada.⁹

Pero quizás las incineradoras que más problemas plantean por causa de las emisiones de ácido clorhídrico son las de residuos hospitalarios, debido a la gran cantidad de plásticos totalmente desechables que se producen en los centros sanitarios. Además las bolsas o cajas que contienen los residuos deben ser más gruesas que las utilizadas para los residuos urbanos ya que es necesario asegurar su transporte sin riesgo para las personas que los manipulan. Actualmente en Catalunya está a punto de entrar en funcionamiento una planta de residuos hospitalarios en Montcada. Hasta ahora los residuos hospitalarios eran incinerados en los pequeños hornos localizados en los mismos hospitales o transportados a los vertederos de residuos urbanos. La primera opción crea importantes problemas de control, ya que las temperaturas de combustión y el proceso de la incineración no son controlados por personal cualificado, sino por personal interno del centro. La segunda opción también plantea el problema de las emisiones gaseosas, aunque de manera más lenta.

Otro gran grupo de contaminantes que aparecen en los gases de combustión y en las escorias de las plantas incineradoras son los hidrocarburos clorados, entre los que se encuentran entre otros las dioxinas y furanos. Aunque los precursores, los mecanis-

⁷ R.A. Frosch y N.E. Gallopoulos. «Nuevas estrategias industriales». *Investigación y Ciencia*. Nov. 1989. pág. 108.

⁸ Un estudio de la composición de los residuos urbanos en tres municipios catalanes que está realizando el Centre d'Ecologia i Projectes Alternatius (CEPA), para una posterior puesta en marcha de un proyecto de recogida selectiva integral de residuos urbanos en origen, muestra que el consumo de PVC se debe mayoritariamente a botellas de agua de litro y medio, bo-

tellas de aceite, retráctilatos de juguetes y medicinas, tubos, macetas, juguetes, cajas de mercado, cubos, mangueras, parachoques,... Los porcentajes en volumen y peso de estos residuos de PVC son suficientemente importantes para que se tengan en cuenta a la hora de predecir el impacto negativo que los residuos van a tener en el medio ambiente al ser depositados en vertederos o quemados en plantas incineradoras.

⁹ Joan Subirà, Avui, 28 octubre 1991.

mos de reacción y la transformación de estos compuestos aún no están claros hoy en día, todo parece apuntar a que la combustión de PVC pueda favorecer su formación.

En 1974 la Occupational Safety and Health Administration de EE UU concluyó que el cloruro de vinilo es un cancerígeno humano y fijó los límites máximos de exposición a este compuesto. A pesar de ello en el año 1983 la producción de PVC alcanzó unos 3 millones de toneladas.¹⁰

Uno de los últimos accidentes ocurridos por un incendio en una fábrica que contenía material de PVC fue el que tuvo lugar el 29 de enero de 1990 en la fábrica de plásticos Andrés Santiago de Portugalete (Bizcaya). Los gases de combustión del PVC cubrieron el casco urbano de Portugalete. Algunas personas sufrieron mareos y dolores de cabeza, y algunos metales de ventanas sufrieron desperfectos por causa del ácido clorhídrico emitido.¹¹ Después de una semana del incendio, los responsables y directivos de la empresa siniestrada decían que todavía no se conocían las causas y el origen del incendio, aunque sí decían que la nube tóxica no produciría efectos secundarios en los afectados¹². Estas declaraciones tan comunes después de accidentes como el de Portugalete, y realizadas sin ningún tipo de seguimiento toxicológico ni analítico, sólo muestran la incompetencia de los responsables y de las autoridades en temas donde deberían mostrar humildemente su incapacidad. Los residuos resultantes de la quema de PVC en Portugalete, terminaron en una escombrera que no tenía el permiso para admitir residuos tóxicos. -

PLAGUICIDAS SINTÉTICOS

Durante las últimas cuatro décadas, el uso de los plaguicidas o pesticidas ha con-

tribuido a un aumento importante en el crecimiento de cosechas de todo tipo. Pero en muchas zonas se ha llegado a crear una gran dependencia de las cosechas al uso de estos compuestos químicos sintéticos.¹³

Entre ellos los que han alcanzado una mayor importancia por causa de su impacto ambiental negativo, han sido los hidrocarburos clorados y clorofenoxiácidos, es decir, dos grupos de plaguicidas que contienen cloro.

Citaré cuatro ejemplos conocidos de plaguicidas, dos pertenecientes al grupo de los hidrocarburos clorados: DDT y lindano, y dos del grupo de los clorofenoxiácidos: 2,4-D y 2,4,5-T, comentando algunos de los problemas que han causado y están causando en el medio ambiente.

El DDT (dicloro difenil tricloro etano) fue sintetizado en 1874 por un químico alemán. En 1939 fue redescubierto por el suizo Paul Müller por sus propiedades como insecticida, lo cual le valió el Premio Nobel en 1948.

El éxito de DDT tiene sus inicios durante la segunda guerra mundial, ya que fue la primera guerra que produjo más muertos por heridas de combate que por enfermedades transmitidas por insectos. El DDT fue también el responsable de que entre 1943 y 1944 se parara una epidemia de tifus en Italia. Debido a su gran validez para combatir a los portadores de malaria, fiebre amarilla y tifus, se difundió en cantidades importantes durante los años 50 y 60.

Los primeros efectos del DDT llegaron a ser mortales para diferentes tipos de aves, peces y otros animales. Algunos insectos desarrollaron inmunidad al DDT que venía a través de mutaciones genéticas. Como consecuencia de la inmunidad desarrollada por ciertas plagas se utilizaron más y más compuestos químicos para dominarlas, aumentando el daño causado a la naturaleza, y cuantos más compuestos se utilizaron,

años. Actualmente puede considerarse que su porcentaje queda dividido en tres grandes grupos: herbicidas (39%), insecticidas (33%), fungicidas (21%) y otros (7%).

G. Lean: D. Hinrichsen and A. Markham. (WWF) *Atlas to the Environment*. Arrow Books, 1990, pág. 106.

¹⁰ A. Streitwieser y C.H. Heathcock, *Química Orgánica*, Emalsa, Interamericana, 1987. pág. 1206.

¹¹ El Correo Español-El pueblo Vasco, 31 enero 1990. Archivo Sagarrak, Basauri.

¹² Egin, 7 Febrero 1990. Archivo Sagarrak, Basauri.

¹³ El mercado mundial de pesticidas ha sufrido aumentos de entre el 600 y 800% en los últimos 20

más inmunidad presentaban ciertos grupos de plagas.¹⁴

Algunos de los efectos del DDT han sido la disminución de algunas poblaciones como águilas, halcones y pelícanos que constituyen el eslabón terminal de algunas cadenas alimentarias. Se observó que el apareamiento en estas especies se producía con mucho retraso respecto del período normal y los huevos presentaban una cáscara muy débil. Ambos efectos llevaban al hecho de que la reproductividad se viera afectada.

Aunque el DDT fue prohibido en Estados Unidos en el año 1973, otros países tardaron otros 10 años en prohibirlo, como Gran Bretaña, y puede comprarse actualmente en países del tercer mundo.

El DDT como el resto de los hidrocarburos clorados es considerado un producto químico persistente, que equivale a decir que el tiempo necesario para que pierda un 95% de su actividad es de más de dos años. Por esta razón su dispersión a través de las aguas, atmósfera y suelos es lenta y puede alcanzar distancias insospechadas.

El lindano es otro de los plaguicidas perteneciente al grupo de los organoclorados más difundidos en el medio ambiente. Su nombre científico es: isómero gama de hexaclorociclohexano (g-HCH).

El lindano se utiliza en la agricultura, veterinaria, como plaguicida doméstico y para combatir los piojos. Fue prohibido en los Estados Unidos por sus supuestos efectos cancerígenos, aunque es ampliamente utilizado en otros países. Hasta ahora el lindano ha dado resultados positivos de cáncer en animales, abortos espontáneos y daños en el sistema nervioso de humanos y animales.

Al igual que el DDT, este plaguicida se caracteriza por su gran persistencia en el medio ambiente y su acumulación en los tejidos grasos de los seres vivos.

El caso más cercano por contaminación relacionado con la fabricación de lindano que tenemos es el de Sabiñánigo (Huesca) en el Pirineo Aragonés.¹⁵ En mayo de 1987 la Asociación para la Defensa del Pirineo Aragonés (ADEPA), denunció el vertido ilegal, desde hacía 12 años por parte de la empresa Inquinosa (Industrias Químicas del Noroeste SA), de 30 toneladas diarias de residuos de HCH. Estos residuos eran vertidos en el barranco de Bailín, a unos 2 km de la población, quedando depositados a cielo abierto y mezclándose con el suelo y las aguas. Las aguas pasaban directamente al río Gállego (afluente del Ebro) y se utilizaban para regar tierras de labor además de fluir a la red de agua potable de Sabiñánigo. Los residuos vertidos corresponden a compuestos de HCH liberados en la producción de lindano, insecticida exportado a otros países.

Algunos análisis realizados en las aguas del río Gállego procedentes de la zona del vertido, mostraron concentraciones de 2000 a 6000 veces superiores a los valores estándar de la CEE. El embalse de Sabiñánigo es un punto de urgente descontaminación por causa de la contaminación de HCH arrastrada por el río Gállego.

Después de varias quejas y denuncias a la CEE, la alternativa ofrecida por la empresa fue la de tratar térmicamente sus residuos para producir ácido clorhídrico y triclorobenceno, mediante la compra de una planta de segunda mano procedente de Alemania. Aunque la instalación para el tratamiento térmico de los residuos de lindano se llevó a término, la empresa aún no ha podido demostrar la no emisión de contaminantes.¹⁶

Precisamente fue en Alemania, cerca de Hamburgo, donde la planta que fabricaba herbicidas C.H.Boehringer Sohn tuvo que ser cerrada y descontaminada debido a la polución producida por dioxinas proceden-

degradarse.

¹⁵ «Toxic Scandal in the Pyrenees. Soil Contamination through industrial toxic dumps». Report of the Seminar at Brussels. 8th 9th april 1988. pág. 39.

¹⁶ María Luisa Toribio. Greenpeace. Boletín Informativo Otoño 1989. pág. 16.

tes de la descomposición térmica de residuos de HCH.¹⁷

Se ha descubierto que en Aragón la empresa inyectó sus residuos en pozos de gas, en campos agrícolas y como relleno en obras.¹⁸ Actualmente el problema en Sabiñánigo es el de quién va a responsabilizarse de todos los residuos que han sido vertidos durante los últimos años. Posiblemente se nos pida que seamos una vez más solidarios con algo que nadie nos preguntó si queríamos o no.

Dentro del grupo de los clorofenoxiácidos hay que destacar los herbicidas 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) y 2,4,5-T (ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético). El grupo fenoxi constituyente de estos herbicidas tiene como propiedad la de imitar a las hormonas responsables del crecimiento de las plantas, de tal manera que la planta crece muy rápidamente consumiendo la energía acumulada y muere extenuada. Uno de los principales problemas que conlleva la utilización de 2,4,5-T es el hecho de contener como impureza pequeñas cantidades de 2,3,7,8-dibenzo dioxina tetraclorada, que se forma durante la síntesis del herbicida a consecuencia de una reacción paralela.

El incidente más importante causado por el uso de plaguicidas contra el ser humano ha sido quizás el de la defoliación de extensas áreas de Vietnam del Norte por parte del ejército de los Estados Unidos durante la guerra del Vietnam.

Entre 1962 y 1971 el programa para defoliar grandes zonas del Vietnam hizo que se vertieran 55 millones de kilos de herbicidas dejando enormes zonas desforestadas que pueden verse aún actualmente. Una gran parte de estos herbicidas fueron arrojados en forma de una mezcla conocida como Agent Orange, con una concentración de dioxinas media de unas 2 ppm, pero que a veces alcanzaba las 47 ppm.¹⁹

El objetivo de su utilización era el de «limpiar la selva» para poder evitar que las

guerrillas vietnamitas se escondieran, además de destruir las cosechas para debilitar a la población. Durante estos años cientos de miles de personas entraron en contacto con el herbicida. Muchos vietnamitas fueron rociados directamente, algunos soldados americanos lo fueron por error, o entraron en zonas acabadas de rociar, y otros manipularon directamente el herbicida. Los estudios de algunos pájaros afectados por alteraciones cromosómicas y la aparición de extraños tipos de cáncer, hicieron que en 1971 la indignación popular parara el programa americano. De un grupo de 70 veteranos vietnamitas que habían estado en contacto con el herbicida, sólo uno tuvo un niño normal. En 1982 una cuarta parte de los embarazos registrados en el Hospital de Tay Ninh, al noroeste de Saigón, terminaron en abortos. Una gran proporción de niños nacieron sin ojos o miembros, cabezas demasiado grandes o sin cerebro.

La Dow Chemical, fabricante del Agent Orange, fue denunciada por 45.000 veteranos, y después de años de litigios se pagaron 180 millones de dólares en concepto de compensación. Pero los que realmente sufrieron y están sufriendo las consecuencias del programa devastador es el pueblo vietnamita y no existe ningún tipo de compensación económica para mitigar el daño causado.

El final del Agent Orange fue su incineración marina. Entre julio y septiembre de 1977 el buque incinerador Vulcanus I quemó en sus hornos 10.400 toneladas de Agent Orange. La operación se llevó a cabo con el visto bueno de la EPA (Environmental Protection Agency) en el Pacífico Sur, a 193 Km del Atolón Johnston.²⁰

A pesar de que los organismos oficiales consideran que la incineración marina no implica ningún riesgo, las quemadas de PCBs, plaguicidas y demás compuestos «especiales», se llevan a cabo en barcos incinerado-

¹⁷ H.J. Jürgens and R.Roth. «Case Study and Proposed Decontamination of a Closed Herbicide Plant in the Federal Republic of Germany. Solving Hazardous waste problems. Learning from dioxin». ACS 338. Washington 1987, pág. 221.

¹⁸ José Angel García. El Periódico (Aragón). 10 ju-

lio 1992.

¹⁹ Niguel Dudley. *This Poisoned Earth*, Piatkus, 1987, pág. 131.

²⁰ Harry M. Freeman Ed. *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*, Mc Graw-Hill 1989, pág. 8.114

res en el Pacífico Sur, ya que en las aguas de Estados Unidos y de Europa no se permite hacerlo. Quizás las poblaciones de las islas del Pacífico sean más resistentes a los contaminantes emitidos por los barcos incineradores, después de soportar las radiaciones que han recibido en los últimos años de las pruebas nucleares realizadas por algunos países «desarrollados».

DIOXINAS Y FURANOS

Otro gran grupo de compuestos de cloro o hidrocarburos clorados más nombrados últimamente son los que forman parte de la gran familia de moléculas llamadas dibenzo dioxinas policloradas y dibenzo furanos policlorados, conocidos vulgarmente como dioxinas y furanos.

Estas moléculas están formadas por dos anillos aromáticos o bencénicos unidos entre sí por uno o dos oxígenos (furanos y dioxinas respectivamente). Las cuatro posiciones de cada anillo aromático pueden ser ocupadas por átomos de cloro, de tal manera que dependiendo del número de átomos de cloro que se enlacen a la molécula y de su posición, se obtiene 75 isómeros diferentes de dioxinas y 135 isómeros de furanos. Es decir que nos encontramos delante de 210 compuestos que forman parte de una familia de moléculas problemáticas debido a su gran toxicidad. Dejando a parte el hecho de que en vez de cloros puedan enlazarse bromos a estas moléculas, lo cual nos llevaría a hablar de más de 5000 isómeros, actualmente sólo se controlan 17 de los 210 isómeros de dioxinas y furanos.

Parece ser que la primera referencia histórica relacionada con estos compuestos data del año 1968 cuando 13.000 personas en el Japón fueron intoxicadas por consumir aceite de arroz que contenía pequeñas cantidades de furanos junto con PCBs.

A mediados del año 1971 tuvo lugar el suceso de Horse Arenas (Missouri) que supuso el primer accidente reconocido causado por las dioxinas. Era muy frecuente rociar con aceites residuales las arenas de

cuadras y carreteras para evitar que se levantara polvo. En el caso de Horse Arenas, después de tres días de rociar las arenas con el aceite, se encontraron pájaros muertos en el lugar. Semanas después murieron algunos perros, gatos, roedores y más pájaros. De los 125 caballos que había en el lugar, 85 hicieron ejercicios en el ruedo. De estos últimos 62 enfermaron y 48 murieron más tarde.²¹

A principios de los años 70 sucedió el accidente de Times Beach (Missouri) causado por la contaminación de dioxinas en el suelo procedentes de los aceites residuales mezclados con herbicidas utilizados para rociar el suelo de carreteras no asfaltadas. La población tuvo que ser evacuada del lugar.

Durante los años 60 y 70 se generaron dioxinas como subproducto de la fabricación del herbicida 2,4,5-T, como ya se ha comentado antes.

Pero quizás el suceso más tristemente conocido fue el de Seveso, 30 Km al norte de Milán, donde estaba situada la empresa ICMESA, sucursal de la multinacional suiza Hoffman La Roche. En esta empresa se producía la síntesis del triclorofenol, compuesto que contiene una de las dioxinas más tóxicas que se conocen, la 3,4,7,8-tetracloro dibenzo dioxina. El 10 de julio de 1976 empezó un proceso exotérmico incontrolable en algún punto del tanque de reacción como consecuencia de la ruptura en una válvula de seguridad conectada al reactor. Esto produjo la emisión de una nube tóxica a la atmósfera conteniendo 500 kilos de triclorofenol con su correspondiente impureza de dioxina. Durante dos semanas murieron plantas, pájaros y otros animales cerca de la planta. Hubo gente que tuvo que ser atendida en hospitales porque presentaban vómitos, lesiones en la piel, diarreas, dolores en riñones e hígado... Nadie dijo nada. La empresa no había advertido a las autoridades del contenido de dioxinas que había sido emitido a la atmósfera. Nueve días después del accidente se encontraron dioxinas en diferentes muestras captadas alrededor de la planta. La primera evacuación de 700 personas que vivían en la

²¹ Coleman D.Carter, *Science*, mayo 1975, pgs.

zona A, la más próxima a la instalación, empezó después de dos semanas del accidente. Unos días más tarde se advertía a la población de la zona B que no tuvieran contacto con el exterior. En total se emitieron 2 kilos de dioxinas. A pesar de la gran polémica desatada en torno a la recomendación del aborto por las posibilidades de efectos teratógenos de las dioxinas, un 90% de las mujeres abortó. No hubo mortalidad declarada como consecuencia del accidente, pero los índices de abortos espontáneos fueron altos entre octubre de 1976 y septiembre de 1977 comparando estos datos con zonas no expuestas. Después de 1978 los valores de índices de abortos volvieron a la normalidad. A partir de 1978 aparecieron algunos casos de malformaciones genéticas pero son datos confusos, ya que no se hizo un estudio serio de las consecuencias producidas por el accidente, opinión que manifiestan los científicos mayoritariamente. Uno de los efectos claramente relacionado con las dioxinas fue el del cloracné, un tipo de acné muy persistente, y que sufrieron de manera muy acusada algunos niños en Seveso, algunos de los cuales tardaron años en recuperarse.

A raíz del accidente de Seveso, en el que no se actuó de manera rápida por desconocimiento por parte de la población y de las autoridades municipales, la Comunidad Económica Europea dictó la «Normativa de Seveso» en 1984 en la que se obliga a las compañías que trabajan con substancias químicas peligrosas a comunicarlo a los trabajadores y residentes en el entorno.²²

Algunas características de las dioxinas y furanos son su carácter hidrofóbico y lipofílico, lo cual favorece su acumulación en zonas con un alto contenido en grasas. El hecho de ser estables hace que su transporte pueda ser muy largo en el tiempo y en el espacio. Se adhieren muy bien al suelo y no pasan fácilmente a los lixiviados, a no ser que lo hagan en forma de pequeñas partículas.

Las fuentes de dioxinas y furanos en nuestro entorno son muchas y muy diversas. Podríamos destacar entre ellas la utili-

zación de algunos productos que pueden actuar de precursores en las reacciones de formación de estas dioxinas y furanos, aunque algunas de estas reacciones todavía no están claras. Así pues algunos de los precursores de la formación de dioxinas son: el clorofenol y clorofenolatos utilizados como insecticidas en trabajos de madera y pieles, como fungicidas en la industria del papel, bactericidas en jabones o añadidos a aceites, tintes, textiles, etc; los PCB (bifenilos policlorados) utilizados básicamente como aislantes y refrigerantes; el clorobenzol usado como fungicida para el trigo, etc.

Pero una de las fuentes más temidas y nombradas en los últimos años ha sido la correspondiente a las emisiones producidas en las plantas incineradoras. A mediados de los años 70 se detectaron ciertas concentraciones de dioxinas y furanos en los gases de emisión de las plantas incineradoras de residuos urbanos e industriales. Después de casi dos décadas de estudios, actualmente aún se desconocen los mecanismos de reacción que pueden producir estas moléculas, los precursores responsables de su formación, el lugar dentro de la planta incineradora en que se producen, la influencia exacta de la temperatura, tiempo de residencia de los residuos en el horno, turbulencia de los gases, es decir, todavía es algo no esclarecido suficientemente como para que se pueda empezar a actuar de cara a la prevención de su formación en los hornos incineradores. Pero las dioxinas y furanos no sólo se encuentran en las emisiones de gases que se emiten por la chimenea, sino que también se encuentran en el polvo procedente de los electrofiltros, en el polvo que queda adherido a las paredes de las calderas que tienen como función recuperar el calor y generar energía y en las escorias, esas escorias que en nuestro país aún se utilizan para mezclar con el asfalto para carreteras, con el hormigón para viviendas o para tapar antiguas extracciones de áridos, lo que en otros países está totalmente prohibido hacer.

Otra cosa que limita el conocimiento que puede tenerse de estos compuestos, es que

²² Frederick Coulston and Francesco Poecchiari Ed.

Accidental Exposure to dioxins. Academic Press, 1983.

los análisis químicos sean muy caros, y de que haya muy pocos laboratorios con instrumental y personal especializado para su realización.

Actualmente la legislación alemana ha fijado límites para las emisiones de dioxinas, avanzándose a la ley europea comunitaria que es la que se aplicará próximamente en el Estado español y que no ha establecido todavía estos límites.

Referente a su toxicidad podríamos decir que ésta es muy diferente según el isómero de dioxina y furano, y además que también varía mucho según el ser vivo expuesto. En las dos tablas siguientes se muestran las dosis letales, para diferentes isómeros de dioxinas en los cobayas, y las dosis letales de la dioxina más tóxica en diferentes tipos de animales. La dosis letal (LD_{50}) es la cantidad de compuesto que ha de ser suministrada a un ser vivo determinado para que el 50% de la población muera.

Tipo de dioxina	LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ²³
Posición átomo cloro	cobaya
2,8	300.000
2,3,7	29.000
2,3,7,8	1
1,2,3,7,8	3
1,2,4,7,8	1.125
1,2,3,4,7,8	73
1,2,3,6,7,8	100
1,2,3,7,8,9	100
1,2,3,4,6,7,8	7200
1,2,3,4,6,7,8,9	4.000.000

Toxicidad de la 2,3,7,8-TCDD²⁴

2,3,7,8- TCDD	LD_{50} ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
cobaya	0.6
rata	40
mono	70
conejo	115
perro	150
ratón	200
hámster	3.500
rana	más de 1.000
humanos	no hay muertes reconocidas

Como puede apreciarse, las diferencias son realmente importantes, no sólo a nivel de seres vivos, sino también a nivel de isómeros.

Por todo esto, es obligado especificar el tipo de dioxina de cuya cantidad se está hablando, o expresar esta cantidad en forma de toxicidad equivalente, es decir aplicando un factor correspondiente de manera que resuma la toxicidad de todas ellas.

A pesar de que el tema de las dioxinas y furanos en el medio ambiente has sido ampliamente debatido en muchos sectores diferentes de la sociedad, todavía hoy parece ser un tema tabú para algunos de los responsables de plantas incineradoras o procesos que puedan generar estas sustancias, y lo que es más grave, para responsables de la administración y científicos afines a este tipo de industrias, que con su actitud subestimatoria, lo único que logran es crear un clima de desconfianza en la población.

BIFENILOS POLICLORADOS (PCB)

Los bifenilos policlorados (PCBs) son moléculas formadas por dos anillos aromáticos enlazados y con 10 posiciones donde pueden entrar átomos de cloro.

Aunque fueron producidos comercialmente en los años 20, no fue hasta finales de los 60 cuando se descubrió su toxicidad, persistencia en el medio ambiente y su acumulación en los seres vivos. Algunas de sus propiedades como las de ser poco reactivos, conducir bien el calor, poseer muy buena resistencia eléctrica y ser buenos lubricantes, hicieron que fueran muy utilizados en electrodomésticos, fluorescentes, intercambiadores de calor, fluidos hidráulicos. Mientras se consideraron inofensivos se utilizaron en grandes cantidades y se esparcieron por el ambiente.

Algunos de los primeros accidentes por causa de los PCBs fueron debidos a consumos de alimentos que habían estado en contacto con estos compuestos por averías en sistemas de intercambio de calor. Uno

²³ F.W. Karasek y F.L. Onuska, *Analytical Chemistry*, 54, 1982, 309A-324A.

²⁴ F.W. Karasek y Otto Hutzinger, *Analytical Chemistry*, 58, 1986, 633A-642A.

de los primeros accidentes fue en 1968 en Japón cuando una pequeña fuga de un intercambiador de calor hizo que el PCB pasara al aceite destinado para consumo humano. En este incidente 13.000 personas fueron intoxicadas.²⁵

En 1976 una directiva de la CEE restringía el uso de PCBs a sistemas cerrados. Actualmente está prohibida su producción en todo el mundo, aunque hay países que parece que continúan con ella.

Los PCBs son uno de los compuestos restringidos en los residuos que han de ser depositados en vertederos, y en aceites que van a ser quemados en hornos incineradores o cementeras. Una de las soluciones que se proponen a los PCBs es la incineración, a pesar de que se ha demostrado la emisión de dioxinas en muchas de las plantas incineradoras donde se han quemado. Se calcula que desde 1930 se han producido entre 1 y 2 millones de toneladas de PCBs en el mundo. El primer problema será encontrar donde están todos estos PCBs, y una vez encontrados que hacer con ellos: guardarlos en contenedores de alta seguridad hasta que algún día se encuentre un tratamiento adecuado, o incinerarlos, poniendo en peligro a una población que puede ser afectada por las emisiones de dioxinas, furanos y otros compuestos orgánicos.

Concentraciones importantes de PCBs se encuentran actualmente en los análisis realizados sobre seres vivos, en la litosfera, hidrosfera y atmósfera tanto en el hemisferio norte como en el sur.

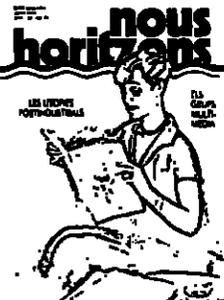
Los PCBs son uno de los ejemplos de al-

go que hemos creado y usado sin medida, y con lo que ahora no sabemos que hacer pero que hay que retirar de los lugares donde se utiliza. Intentar transformar estas moléculas, sin que con ello contribuyamos a la formación de otras que puedan ser tanto o más peligrosas que las primeras, es el reto que debe asumir la tecnología.

Casi todos estos problemas causados por el uso de compuestos que contienen cloro, se han producido por un consumo exagerado e innecesario de productos.

Empezaron siendo algo de lo que se podía prescindir en gran manera, continuaron siendo algo que por intereses económicos y políticos no podía terminar, y han acabado siendo algo con lo cual no sabemos que hacer, que tenemos claro que su presencia en la ecosfera es un peligro, pero que la tecnología hoy por hoy no puede resolver. Esto ha ocurrido en el mejor de los casos, como puede ser el de los PCBs. En otros, todavía estamos en la segunda etapa: los CFCs continúan siendo emitidos a la atmósfera, los PVCs se continúan fabricando, los plaguicidas sintéticos continúan siendo algo común en cosechas y jardines, y las dioxinas continúan siendo emitidas por diferentes tipos de industrias y amenazando a la ecosfera.

Mientras tanto se continúan dando dos alternativas: la de destruir o tratar estos compuestos a medida que se vayan generando y consumiendo, y la de una minimización y reducción en origen o abolición total de aquello que pueda causar daños irreparables al medio.



NOUS HORITZONS és una revista d'informació, de cultura i de política. Va néixer entre Barcelona, París i Mèxic el 1960 i ha comptat sempre amb la col·laboració dels «grans» i dels «petits» de la cultura catalana.

Ciutat, 7 - 08002 Barcelona - Tel. (93) 301 05 54

²⁵ Steve Elsworth. *A dictionary of the Environ-*

ment. Paladin 1990.