

# CAPITULO VII

---

## **“RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**



## CAPÍTULO VII: RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se recopiló un total de 123 documentos de la más variada naturaleza formal, varios fueron descartados por ser versiones repetidas o poco relevantes para luego quedarse con 96 documentos. De éstos, 64 son estudios que proporcionan resultados originales producto de mediciones de COPs en ambiente y humanos. Los 32 documentos restantes correspondieron a documentos de carácter normativo, de análisis de situación, de posición ante el tema o de otro tipo. En 57 de los 64 estudios primarios se describió la metodología analítica utilizada. En éstos se efectuó un análisis en relación al aspecto analítico de las investigaciones.

Algunas veces los títulos de las referencias bibliográficas no fueron suficientemente claros y la posterior revisión del documento mostró que no eran pertinentes para esta evaluación. Esto sucedió con títulos relativos a efectos adversos en humanos, especialmente malformaciones congénitas, en donde los documentos identificados no fueron útiles pues se referían a plaguicidas que no eran clorados. El gran desarrollo de los estudios de asociaciones entre plaguicidas y malformaciones ocurrió durante la década de 1990 en función de plaguicidas organofosforados y de otro tipo, cuando los POCs más cuestionados ya habían sido prohibidos.

Las 64 publicaciones muestran una cantidad bastante mayor de pesquisas efectuadas en diferentes matrices, las que se pueden agrupar en tres ámbitos, matrices en humanos, en medio biótico y en medio abiótico. Un 57% de las pesquisas se hizo en medio biótico y corresponden en su gran mayoría a matrices que son alimento para humanos; el 32% son indagaciones en medio biótico en donde predomina el estudio del agua y sedimentos, finalmente casi el 11% son pesquisas en humanos, en especial en leche materna. Un detalle de la distribución de las frecuencias por año en que se exploraron las diversas matrices se muestra en el Anexo 6.

- **Alimento para humanos:** La mayor parte de las pesquisas en medio biótico corresponden a indagaciones en alimentos. La mayor parte de la información se concentra en el estudio de plaguicidas en alimentos. Hay 25 publicaciones en esta área que exploran desde una a varias matrices alimentarias. Las exploraciones abordan prioritariamente leche de vaca y derivados lácteos en 9 ocasiones, carne y grasas de vacunos con 8 pesquisas, frutas y hortalizas en 5 ocasiones, tres evaluaciones de huevos y 7 investigaciones en peces y otros organismos acuáticos. Hay tres estudios de alimentos para animales. La mayoría de estos trabajos en alimentos se concentra entre 1978 y 1989, hay pocos ubicados en los 1990s cuando la prohibición de los COPs los hizo poco atractivos como tema de estudio. Igualmente, 21 publicaciones abordan casi la totalidad de los 9 plaguicidas COPs y cuatro estudian el contenido de PCBs en alimentos humanos. En las Regiones IX y X se concentran 20 de estos trabajos, el resto se ubica entre la V y la VIII. Mención especial cabe hacer sobre el gran volumen de muestras de leche de vaca y derivados como mantequilla y quesos procedentes del área comprendida entre las Regiones V y X y que ha procesado el ISP como parte del programa nacional de vigilancia del contenido de plaguicidas en alimentos de riesgo, las muestras analizadas en 1981-1993 y 2003 sobrepasan las 5.000. Un análisis de los contenidos de POCs en estas muestras se presentó en una evaluación de sustancias tóxicas persistentes en Sud América elaborado por el Centro EULA (UNEP/GEF 2002).

La vigilancia del ISP y los dos estudios del INIA fueron los que abordaron el mayor número de matrices alimentarias.

- **Monitoreo biológico en humanos:** Este rubro acumula 12 estudios. Nueve exploran COPs en leche materna y en 6 se estudia el tejido adiposo subcutáneo, hay un solo estudio que investigó el nivel de COPs en sangre en trabajadores agrícolas. En 10 estudios se midió plaguicidas y en dos se midió PCBs. Entre 1978 y 1990 se ubican 10 de los trabajos y en 1996 los dos restantes centrados en PCBs. La mayor parte de estos estudios (10) se hizo en la Regiones Metropolitana, VIII y X.
- **Sedimentos y biota:** Hay 10 estudios hechos a partir de 1994 en sedimentos de aguas continentales y marinas entre las Regiones VIII y XII; los POCs y PCBs son el principal interés en estas mediciones. Hay 10 exploraciones de POCs y PCBs en biota acuática en las Regiones VIII y X hechos en la segunda mitad de los 90s.
- **Aguas:** En ocho estudios se estudió plaguicidas y en otros dos, dioxinas y furanos. Se han efectuado en las Regiones V, VI, VII, VIII, IX y X. El agua de río se exploró en 6 ocasiones (especialmente el Aconcagua y el Bio Bio) y la de mar en dos ocasiones.
- **Aire:** Se dispone de dos estudios que determinan PCBs, uno en Santiago y Temuco en 1998 y otro en aire de Santiago, en 2001. No se detectó referencias ni material sobre mediciones de plaguicidas clorados en aire urbano o de ambientes laborales.
- **Suelos:** Dos estudios amplios sobre los niveles de plaguicidas COPs en los suelos que abarcaron desde la IV a la XI Región, efectuados entre 1983 y 1989. Hay dos muestreos muy reducidos hechos en 1999 para medir dioxinas y furanos. En el 2000 se efectuó además en algunas regiones mineras e industriales, un estudio de PCBs en suelos vecinos a fuentes potencialmente emisoras.
- Dos exploraciones efectuadas por organismos oficiales en 1999 y 2000 miden dioxinas y furanos en muestras de variados elementos ambientales procedentes de Regiones V, VII, VIII y IX.
- Finalmente, hay varios documentos ordenados en dos grupos especiales. Un grupo de 12 publicaciones que no tienen carácter de investigación primaria, dedicadas a presentación y análisis crítico del problema de los COPs en Chile, a transcribir resultados de investiga-

ciones, etc. La mayor parte se publica a partir de 1995. En general aportan información de carácter cualitativo respecto a la contaminación ambiental con COPs y también de tipo social. Otro grupo de documentos que presentan resoluciones normativas del Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura y de la SEG (actualmente SEC) y documentos de instituciones que elaboraron inventarios de COPs.

A continuación se hace la presentación comentada de los resultados de gran parte de los estudios sobre COPs en humanos y en ambiente. Se presenta sólo los doce compuestos de interés para este informe, dado que en ocasiones las investigaciones informan también otros compuestos organoclorados tales como lindano, metoxicloro, pentaclorofenol, etc.

### COPs en muestras de humanos

La información se refiere a determinaciones de COPs en muestras de leche, tejido adiposo subcutáneo y sangre. Algunos de los estudios se han hecho simultáneamente en leche y tejido graso subcutáneo, la mayoría en mujeres; hubo sólo un estudio hecho en trabajadores agrícolas.

Fue posible revisar 12 documentos identificados con estudios de COPs en humanos. Hubo nueve exploraciones en leche, seis en grasa y una en suero sanguíneo. Nueve se refieren a POCs en leche y/o tejido adiposo, dos a PCBs en leche y en tejido adiposo y uno a POCs en sangre en trabajadores agrícolas.

La tabla Nº 1 muestra las condiciones relativas al DDT en los 9 estudios en leche y tejido graso. En varios de éstos se detectó además aldrín, dieldrín, heptacloro, heptacloro epóxido y HCB. Según estos hallazgos se pudo estimar que la leche materna aporta entre dos y seis POCs al recién nacido.

Desde el año 1951 aparecen publicaciones en países industrializados que señalan la presencia de POCs en concentraciones alarmantes en leche materna, en especial DDT (Laug et al. 1951). A fines de la década de 1970 surge en Chile el interés por esta situación, como una manera de evidenciar el riesgo para el recién nacido (Dimitroff 1978, Triviño 1982). Se ha descrito que la concentración de POCs en leche humana es de 50-100 veces mayor que en leche de vaca, dado que el humano excreta por la leche un porcentaje alto de la carga corporal de POCs (~12,5%) y el vacuno lo hace en alrededor del 1,5% (Olszyna-Marrzys 1978).

**TABLA Nº 1: CONCENTRACIÓN DE DDT EN LECHE MATERNA Y TEJIDO ADIPOSO SUBCUTÁNEO; CHILE, VARIAS LOCALIDADES; 1977-1996**

| Fechas restricciones, límites y prohibición del DDT*        | Lugar del estudio                          | Año de las muestras | Leche materna                                 |   | Tejido adiposo |                         | Referencia             |
|---|--|---------------------|---|---|----------------|-------------------------|------------------------|
|   |  |                     | n   | DDT (µg/kg)<br>**   | n              | DDT (µg/kg)             |                        |
| Marzo 1977<br><br>Enero 1983<br>Mayo 1984<br>Noviembre 1986 | Santiago urbano                            | 1977-1978           | 53  | 258<br>(20-730)   | 102            | 3.850<br>(310-14.530)   | Dimitroff 1978         |
|   | Santiago urbano                            | 1979                | 19  | 414<br>(105-1.319)  | 9              | 7.732<br>(1.080-13.989) | Triviño 1982           |
|   | Región VI                                  | 1980                | 12  | 800<br>(100-8.700)  | 9              | 890<br>(100-1.600)      | MinSal 1982a           |
|   | Santiago urbano                            | 1987                | NE  | 50<br>(30-90)   | -              | -                       | Marcus et al. 1989     |
|   | Lanco y San José de la Mariquina, Región X | 1989                | 54  | 93<br>(0,0-1.660)***  | -              | -                       | Wistuba 1991           |
|   | Santiago urbano                            | 1989                | 47  | 52<br>(4-186)   | 47             | 733<br>(78-3.670)       | Serra et al. 1989      |
|   | Chillán urbano                             | 1990                | 80  | Día 3: 119<br>(53-198)<br>Día 60: 21<br>(5-43)                  | 16             | 282<br>(97-543)         | Torres et al. 1992     |
|   | Santiago urbano                            | 1990                | Total 24<br>15 estrato bajo<br>9 estrato alto | Total 45<br>(3-190)<br>Bajo 37<br>(3-110)<br>Alto 59<br>(8-190) | -              | -                       | Marcus et al. 1991     |
|   | Concepción urbano                          | 1996                | -   | -   | 10             | 225                     | Mariottini et al. 2002 |

\* Ver Anexo 1

\*\* Base no grasa

\*\*\* Valor en publicación original en base grasa = 3.027 (0,000-54.244)

NE = No especificado

Los valores de DDT en leche y grasa humanas en Santiago y VI Región muestran tendencia al ascenso entre 1977 y 1980. El Ministerio de Agricultura en marzo de 1977 prohíbe el uso de DDT en empastadas y en mayo de 1984 prohíbe todo tipo de uso del DDT en el país. Los valores en leche que se obtuvieron en los estudios de Santiago en 1987, 1989 y 1990 -estabilizados en alrededor de 50  $\mu\text{g/kg}$ - estarían demostrando el efecto favorable de tal medida. La cifra en leche de 1987 corresponde casi en su totalidad al metabolito pp`DDE, hecho que denota una exposición antigua al DDT. Una tendencia similar al descenso se observa en las concentraciones de DDT en el tejido graso entre 1979 y 1996, con una caída del orden del 97% en este lapso.

Se detectó DDT en el 100% de las muestras de leche y grasa en los estudios de Dimitroff, Triviño, MinSal, Serra, Marcus y Torres; en el estudio de Wistuba la ocurrencia en leche fue de 72%. Estas cifras demuestran la alta impregnación de los humanos con DDT en la década de 1980.

Los valores promedio de DDT en leche materna encontrados en los estudios de Dimitroff, Triviño, MinSal, Wistuba y Torres, estuvieron por sobre el valor recomendado por FAO/OMS para leche; los valores promedio fueron respectivamente 5, 8, 16, 2 y 2 veces más altos que el límite máximo de residuos (LMR). El promedio del resto de los estudios estuvo por debajo o en el valor LMR; sin embargo, se destaca que en general en éstos una proporción de las muestras estuvo por encima de este límite. El porcentaje de las muestras que sobrepasó el LMR de FAO/OMS de 50  $\mu\text{g/kg}$  fue de 100 (Triviño), 94 (Dimitroff), 46 (Wistuba) y 29 (Marcus 1991). El estudio de Marcus de 1990 presenta los resultados según dos estratos socio-económicos, muestra un mayor nivel de DDT en la leche de madres de más altos ingresos, con un promedio de DDT de 59  $\mu\text{g/kg}$ .

A nivel internacional los estudios tienden a encontrar concentraciones mucho más altas de DDT y de otros POCs en el tejido graso que en la leche materna. En el caso de Chile, en esta ocasión se encontró que en cuatro de los cinco estudios que midieron DDT simultáneamente en leche y en grasa, la razón DDTgrasa/DDTleche osciló entre 13 y 19. Esto describe la magnitud de los depósitos de DDT en el tejido graso humano. Sin embargo y salvo el caso de los estudios de Dimitroff y Triviño, tanto los valores promedio de DDT en grasa como las concentraciones por encima del promedio estuvieron bajo el LMR de 7 mg/kg establecido por el Ministerio de Salud en 1982. Los valores promedio más altos encontrados en esta revisión en general son menores que los encontrados en países desarrollados durante la década de 1960, que fluctuaban entre 10 y 16 ppm.

El estudio de Dimitroff encontró en tejido graso un promedio de DDT total de 3,85 mg/kg. Al separar las madres según el antecedente de exposición reciente o antigua al DDT, el promedio de DDT total fue de 6,5 mg/kg y de 3,3 mg/kg respectivamente, con un predominio del pp`DDT en la exposición reciente y un predominio del pp`DDE en la exposición antigua.

Los países desarrollados ya habían controlado en parte sus situaciones durante la década de 1970, mostrando cifras de DDT en leche materna menores a 150  $\mu\text{g/kg}$ , mientras que los países latinoamericanos habitualmente sobrepasaban ampliamente el límite recomendado por FAO/OMS de 50  $\mu\text{g/kg}$ , como lo demuestran las cifras encontradas en esta ocasión (Albert 1981). Los antecedentes internacionales acerca de concentraciones de POCs en las poblaciones humanas, muestran que los niveles son más altos en países subdesarrollados que en los altamente industrializados y también más altos en comunidades rurales que en poblaciones urbanas (Albert 1981, Vargas 1990). El estudio hecho en las comunas rurales de la Región X, coincide con esta última aseveración.

Un hallazgo interesante por el riesgo que implica, fue lo descrito por el estudio en Chillán, al demostrarse que en los primeros días de lactancia el recién nacido recibe una carga de DDT seis veces mayor que a los 60 días de edad (Torres et al. 1992). Esto no se pudo ver en los otros estudios, dado que los días en que se tomaron las muestras no permiten comparar y a veces este dato del día de edad en que se tomó la muestra incluso no está especificado.

Por otro lado, los estudios chilenos -cuando lo buscaron- no encontraron variaciones en la concentración del DDT en leche según la edad de la madre y según el número de lactancias. Sólo el estudio de Concepción en tejido graso, que además de DDT detectó HCB, encontró para éste una correlación positiva significativa entre incremento de la edad y aumento en sus valores y una insinuación de lo mismo para el DDT (Mariottini et al. 2002). Esta correlación positiva con la edad es una expresión del fenómeno de bioacumulación de los COPs en humanos; cabe destacar que este fenómeno ha sido descrito en humanos para DDT y HCB por diversos autores en otras partes del mundo.

Los dos estudios de PCBs en humanos fueron uno en leche materna y el otro en tejido graso. El estudio en leche materna se efectuó en 1990 en 180 mujeres de la provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue (Tamayo et al. 1994). Se tomaron tres muestras por madre lo que dio un total de 540 muestras de leche. Se encontró PCBs en 38 de las 540 muestras (7% de ocurrencia) que proceden de 33 muje-

res (por tanto la frecuencia en el hallazgo de PCBs en este grupo de 180 mujeres fue de 18%). Ambos porcentajes son llamativamente más altos en la provincia de Llanquihue (13 y 32 respectivamente) y más bajos en la provincia de Valdivia (3 y 8 respectivamente). El promedio de PCBs en las 38 muestras de leche fue de 6,5 ppm base grasa (0,29-254,5), en las 33 mujeres fue de 7 ppm (0,09-84,9). El LMR en leche establecido por la FDA en 1977 es de 1,5 ppm, valor que en este estudio es sobrepasado en casi 5 veces por los promedios mencionados. Las diferencias de los resultados entre provincias de la X Región no fueron aclaradas.

El estudio de PCBs en tejido adiposo se hizo en 1996 comparando 10 mujeres de la ciudad de Concepción con un grupo de 10 individuos de ambos sexos de Italia (Mariottini et al. 2000). Se encontró en el grupo de Concepción un promedio de PCB en grasa de 53 ng/g. En muestras paralelas procesadas en población italiana se encontró un promedio de 493 ng/g. El promedio de edad en los italianos era de 64 años y en las chilenas de 30 años, diferencia de edades que podría explicar en parte la diferencia en concentraciones, por el fenómeno de bioacumulación que ocurre con la edad antes señalado.

El perfil de isómeros de PCBs fue similar en ambos grupos y cabe señalar además que este perfil es similar también al de conocidas mezclas comerciales, como el Aroclor 1260.

El peligro tóxico de las mezclas de PCBs se determina mediante la obtención del valor TEQ (equivalente tóxico respecto a la dioxina) para los diferentes subgrupos de PCBs y la sumatoria de éstos da un TEQ total, que en el caso de Concepción resultó en 1,09 y en Italia de 10,16. El 1,09 de Concepción representa una toxicidad equivalente a 1,09 pg/g de 2,3,7,8 TCDD (dioxina). Según los autores el valor TEQ de ~10 en Italia no aparenta ser alarmante. El valor encontrado en Concepción se puede considerar favorablemente bajo. En el brote de intoxicación con PCBs en 1968 en Yusho, Japón, se encontraron valores TEQ de 10-20 ng/g de dioxina.

El estudio en trabajadores se hizo en 1982 en las Regiones V, Metropolitana y VI (Oyanguren et al. 1984). Se estudió comparativamente niveles de DDT, aldrín, dieldrín, heptacloro y heptacloro epóxido en sangre en dos grupos de trabajadores agrícolas expuestos (V y VI) y en un grupo de trabajadores no agrícolas no expuestos (Santiago). Un resumen de los resultados se muestra en la tabla N° 2.

**TABLA N° 2: CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS EN SUERO SANGUÍNEO (PPM) EN DOS GRUPOS DE TRABAJADORES AGRÍCOLAS Y UN GRUPO CONTROL, REGIONES V Y VI Y SANTIAGO, 1982**

| Grupo                  | n  | Antecedente de exposición a POCs | DDT total | Aldrín | Dieldrín | Heptacloro | Heptacloro epóxido |
|------------------------|----|----------------------------------|-----------|--------|----------|------------|--------------------|
| Trabajadores V Región  | 19 | Sí                               | 0,103     | ND     | 0,012    | ND         | 0,043              |
| Trabajadores VI Región | 36 | No                               | 0,044     | 0,006  | 0,003    | 0,002      | ND                 |
| Trabajadores Santiago  | 39 | No                               | 0,026     | ND     | ND       | ND         | ND                 |

Fuente: Oyanguren et al. 1984

Los autores encontraron un incremento estadísticamente significativo del DDT y sus metabolitos en los grupos expuestos en comparación con el grupo control, lo que refleja una exposición posiblemente prolongada o elevada en los expuestos. Los trabajadores de la VI Región tuvieron un nivel de DDT en sangre cuatro veces más alto que los de Santiago. Se aprecia la influencia del antecedente de haber manipulado POCs sobre el nivel de DDT y los otros plaguicidas. Cabe recordar que la detección de estos compuestos en sangre en general está demostrando una exposición relativamente reciente y no es útil para inferir exposición prolongada como la que suele ocurrir a través de los alimentos. Los valores de DDT en el grupo control se encuentran dentro de los niveles descritos para la población general de países industrializados y destaca la no detección de los otros plaguicidas en este grupo.

Desafortunadamente, este es el único estudio con mediciones en trabajadores que se pudo detectar, situación que no permite disponer de una imagen nacional más consolidada sobre trabajadores expuestos a COPs. Un estudio en el valle del Aconcagua en 1989-1990 que indagó mediante encuesta en 155 trabajadores el tipo de plaguicidas que habitualmente usaban, informó que en un 16% se usaba plaguicidas organoclorados (estudio de AGRA referido por Rozas 1995). La conclusión es que en Chile los trabajadores agrícolas no fueron evaluados respecto de exposición crónica a POCs; es una posible explicación de la gran ausencia de publicaciones del área ocupacional.

En resumen, los estudios en humanos se centraron en detectar niveles de DDT en leche y tejido adiposo. Las primeras mediciones mostraron concentraciones altas y crecientes de DDT entre 1977 y 1980, insinuando quizás la proyección de una tendencia que se venía desarrollando entre los 60s y 70s; al menos un 50% de los resultados sobrepasaron el límite recomendado por el Codex Alimentario. Se observa un claro y persistente descenso de los valores a partir de la fecha de prohibición del DDT en 1985. Los niveles de DDT en tejido graso fueron altos al principio y posteriormente se ubicaron bajo el LMR nacional. Se observa una muy alta ocurrencia del DDT en la mayor parte de los estudios entre 1977 y 1990. Fue frecuente la detección simultánea de dos o más COPs, entre los cuales destacan aldrín, dieldrín, HCB y heptacloro. El estudio de PCBs en leche mostró una ocurrencia baja pero en un nivel cinco veces mayor que lo recomendado por FDA.

A continuación se presentan los principales resultados de las mediciones en alimentos para humanos, especialmente en leche de vaca y derivados, carne de vacuno, huevos y frutas. Las concentraciones en pescados y mariscos se presentan en los resultados de estudios de biota y de bioindicadores. La más importante base de datos sobre COPs en ambiente en Chile es la que se refiere a sus concentraciones en alimentos.

### **COPs en leche de vaca y derivados**

Desde 1979 se han efectuado varios estudios en leche de vaca y derivados lácteos para identificar y cuantificar los COPs más frecuentes. Existen dos importantes fuentes de datos en este aspecto. Una es el programa nacional de vigilancia de plaguicidas en alimentos que se desarrolló desde 1982 conjuntamente entre los servicios de salud, el ISP y el Ministerio de Salud y que contiene una cantidad importante de datos derivados del análisis de más de 5.000 muestras (Ministerio de Salud 1994). La otra es el conjunto de investigaciones desarrolladas por la Universidad Austral de Chile (UACH), que a partir de la segunda mitad de la década de 1980 desarrolló un diagnóstico consolidado en este rubro, especialmente en las zonas lecheras de las Regiones IX y X (Pinto et al. 1987b, 1990a, 1990b y 1996, Fehrmann 1989).

Una primera investigación realizada en 1979 en 32 muestras de leche de la zona central del país, demostró la presencia de DDT en todas las muestras con un promedio de 0,036 ppm (mediana 0,020 ppm) y un rango de 0,006-0,156 ppm. El valor promedio de base no grasa no sobrepasó el LMR recomendado por FAO/OMS de 0,05 ppm; sin embargo, 9 muestras (28%) estuvieron por encima de este valor. También se detectó PCBs pero no fueron cuantificados (Triviño 1982).

En 1980 el Ministerio de Salud/ISP detectó DDT en el total de 14 muestras de leche cruda de la VI Región, con un nivel promedio de 0,128 ppm (0,055-0,230) (Ministerio de Salud 1982a). El promedio base grasa encontrado estuvo muy por debajo del valor permisible de 1,25 ppm recomendado por el Codex Alimentario.

El ISP en 1982 analizó varios POCs en 93 muestras de leche de las Regiones IX y X, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla (Ministerio de Salud 1982a).

**TABLA Nº 3: PLAGUICIDAS COPs ENCONTRADOS EN 93 MUESTRAS DE LECHE DE VACA PROCEDENTES DE LAS REGIONES IX Y X, 1982. CONCENTRACIONES EN PPM, BASE GRASA**

| Plaguicidas investigados | Muestras positivas |     | Promedio (rango)    | LMR * |
|--------------------------|--------------------|-----|---------------------|-------|
|                          | Nº                 | %   |                     |       |
| DDT                      | 93                 | 100 | 1,198 (0,040-9,632) | 1,25  |
| Aldrín-Dieldrín          | 9                  | 9,6 | 0,118 (0,010-0,867) | 0,15  |
| Heptacloro               | 14                 | 15  | 0,142 (0,024-0,243) | 0,15  |
| Clordano                 | 0                  | 0   | ND                  | 0,05  |
| Endrín                   | 0                  | 0   | ND                  | 0,02  |

\* Ministerio de Salud 1982b

Destaca la alta ocurrencia del DDT. Los promedios de DDT y de aldrín-dieldrín están por debajo del límite máximo de residuos (LMR) pero la magnitud de la dispersión por encima de este límite es importante.

Estos resultados motivaron al Ministerio de Salud para iniciar en 1983 un programa de vigilancia a largo plazo de POCs en alimentos, centrado de preferencia en el área comprendida entre las Regiones V y XII, para mantener un diagnóstico actualizado de los niveles de riesgo generados por la contaminación con POCs y para fines de seguimiento de la efectividad de las medidas que se estaban adoptando en el país para controlar su uso. En el periodo 1983-1993 este programa analizó más de 5.000 muestras, especialmente leche de vaca y derivados lácteos, lo cual permitió apreciar tendencias temporales y espaciales de las concentraciones de DDT y otros plaguicidas, en especial entre la zona central y la Región X. Los resultados se muestran en los párrafos y tablas siguientes.

Un primer análisis de los resultados de 2.100 muestras de estos alimentos procedentes de los servicios de salud (SS) de las Regiones IX y X durante el periodo 1982-1985, presenta un perfil cualitativo que



se resume en el párrafo siguiente (Triviño et al.1987). Los promedios de DDT en leche y en mantequilla muestran una marcada tendencia decreciente en los SS Araucanía, Valdivia y Llanchipal, la tendencia en Osorno no es tan acentuada, es más estable pero descendente. Los promedios de dieldrín en leche y mantequilla son muy bajos en todos los servicios, Llanchipal no muestra dieldrín en los años 1984 y 1985. Los promedios de heptacloro en leche y mantequilla muestran tendencia decreciente en todos los SS. Los promedios encontrados que están por encima del valor del LMR respectivo, en su mayoría no sobrepasan el doble del valor del LMR. Se concluye que la situación al año 1985 se ve controlable a mediano plazo, siendo la contaminación detectada una situación no crítica.

En una evaluación posterior se efectúa el análisis de un número mayor de muestras de leche y mantequilla procedentes también de las Regiones IX y X y para un periodo mayor, 1982-1989 (Triviño 1990). En las 4.139 muestras estudiadas se observa que el porcentaje anual de muestras que sobrepasan los LMR de los plaguicidas encontrados descendió progresivamente de 28% en 1982 a 15% en 1985 y a 7% en 1989.

Las tendencias temporales y espaciales se muestran en la tabla siguiente recurriendo a tres años seleccionados del periodo 1983-1993.

**TABLA Nº 4: CONCENTRACIONES PROMEDIO DE DDT TOTAL EN LECHE DE VACA Y MANTEQUILLA SEGÚN SERVICIOS DE SALUD Y REGIONES DE ZONA CENTRO SUR DEL PAÍS. AÑOS SELECCIONADOS 1983, 1986 Y 1993. VALORES BASE GRASA EN  $\mu\text{g/kg}$  (PPB) Y PORCENTAJE DE MUESTRAS QUE EXCEDEN EL LMR (EN PARÉNTESIS)**

| Sector        | Leche de vaca |          |         | Mantequilla |          |         |
|---------------|---------------|----------|---------|-------------|----------|---------|
|               | 1983          | 1986     | 1993    | 1983        | 1986     | 1993    |
| R M           | 112 (0)       | -        | -       | 206 (0)     | -        | -       |
| R VI          | 677 (13)      | -        | -       | 210 (0)     | -        | -       |
| SS Bio Bio    | 1.186 (40)    | -        | -       | 1.011 (40)  | -        | -       |
| SS Araucanía  | 1.919 (47)    | 420 (15) | 75 (0)  | 817(20)     | 130 (8)  | 70 (0)  |
| SS Valdivia   | 842 (13)      | 504 (5)  | 80 (0)  | 560 (13)    | 160 (4)  | 90 (0)  |
| SS Osorno     | 407 (7)       | 402 (6)  | 120 (0) | 562 (0)     | 426 (10) | 50 (0)  |
| SS Llanchipal | 581 (13)      | 321 (4)  | 200 (0) | 690 (33)    | 417 (6)  | 210 (0) |

Fuente: Archivos de resultados de programa vigilancia de alimentos, ISP.

En 1983 –antes de la prohibición del DDT- se observó un incremento de los niveles de DDT desde la zona central hacia los sectores productores del sur, siendo más acentuado en la leche. Destaca la alta concentración en la Araucanía, que además presentó el porcentaje más alto de muestras que superó el LMR de 1.250 ppb; se verá más adelante que la IX Región tiende a mostrar las situaciones más adversas en cuanto a frecuencia y niveles de POCs en distintos medios evaluados. Esta tabla muestra claramente el impacto favorable de la prohibición del DDT en la agricultura en 1984 sobre la calidad de la leche y sus derivados en función de reducir las concentraciones peligrosas por debajo de los límites técnicos establecidos, tal como se aprecia con el descenso progresivo entre 1983 y 1993 tanto de las concentraciones como de los porcentajes de muestras que sobrepasan el LMR.

La disminución de las concentraciones de DDT total en leche y mantequilla entre 1983 y 1993 en las Regiones IX y X que se muestra en la tabla N° 4 y que señala también Triviño en 1990, se presenta gráficamente más adelante en las Figuras 1 y 2. Cabe señalar que este descenso no ocurrió en cambio con el dieldrín, cuyas concentraciones en leche tendieron a aumentar discretamente en los últimos años del periodo.

Además de leche y derivados, la vigilancia incluyó otros alimentos, como grasa animal, huevos y harinas. Los compuestos más frecuentemente informados por el programa de vigilancia fueron DDT, dieldrín y heptacloro.

Un segundo análisis del gran número de muestras acumuladas por el programa de vigilancia procedentes de Regiones V a XII en los años 1983-1989 y 1993 se resume en las cifras promedios para este período de 11 años que se muestran en la tabla N° 5 (Ministerio de Salud 1994, UNEP/GEF 2002).

El compuesto con la concentración más elevada en leche fue el DDT total, con un valor promedio de 0,290 mg/kg, seguido por dieldrín y heptacloro con concentración promedio de 0,130 y 0,120 mg/kg respectivamente. El DDT total también presentó las concentraciones más altas en quesos y mantequillas, con un valor promedio de 0,370 y 0,300 mg/kg respectivamente. Al comparar las concentraciones promedio calculadas (en mg/kg) para cada plaguicida en el conjunto de estos tres productos lácteos, se aprecia que decrecen en el siguiente orden:

DDT(0,395) > Dieldrín(0,111) > Heptacloro (0,097) > HCB (0,053) > Endrín (0,031)

Todos estos promedios están por debajo del valor respectivo de LMR establecido por el Ministerio de Salud en 1982 para estos productos lácteos, excepto el endrín que supera el LMR de 0,02 ppm.

Los valores consolidados de concentraciones de POCs para lácteos para el periodo de 11 años, presentan variación geográfica según regiones. Los promedios de DDT total en leche, mantequilla y queso, están más altos desde la Región VIII hacia el sur, con valores que en general duplican los de las Regiones V a VII. El valor más alto de DDT total está en la VIII Región (mantequilla). La concentración más alta de dieldrín se ubica en la VIII Región y las concentraciones más altas de heptacloro están en el área de Regiones VI-VII, en leche y queso. Dado que las cifras son grandes promedios de muestras procesadas entre 1983 y 1993, no sirven para evaluar tendencias temporales y tampoco sería adecuado comparlas con las tablas que abordan la variable tiempo, pero sí son muy representativas de la tendencia geográfica, por el alto número de resultados que las generaron.

**TABLA Nº 5: CONSOLIDADO DE CONCENTRACIONES DE POCs EN ALIMENTOS. REGIONES V A XII, PROMEDIOS PARA PERIODO DE AÑOS 1983-1989 Y 1993. CONCENTRACIÓN EN mg/kg (BASE GRASA)**

| Región | Alimento    | Clordano | DDT   | Aldrín | Dieldrín | Heptacloro | Endrín | HCB   |
|--------|-------------|----------|-------|--------|----------|------------|--------|-------|
| V-RM   | Leche       | -        | 0,225 | -      | 0,050    | 0,060      | -      | -     |
|        | Mantequilla | -        | 0,145 | -      | 0,033    | 0,069      | -      | -     |
|        | Grasa       | -        | 0,423 | -      | 0,132    | -          | -      | -     |
|        | Queso       | -        | 0,299 | -      | 0,149    | 0,192      | -      | -     |
|        | Carne       | 0,149    | 0,423 | 0,107  | 0,263    | 0,238      | -      | -     |
|        | Harina      | 0,001    | 0,001 | 0,001  | 0,001    | -          | -      | -     |
|        | Huevos      | 0,005    | -     | -      | -        | -          | -      | -     |
| VI-VII | Leche       | -        | 0,128 | -      | 0,156    | 0,231      | -      | -     |
|        | Mantequilla | -        | 0,134 | -      | 0,024    | 0,053      | -      | -     |
|        | Grasa       | -        | 0,267 | -      | 0,226    | 0,142      | 0,001  | -     |
|        | Queso       | -        | 0,09  | -      | 0,117    | 0,212      | -      | -     |
| VIII   | Leche       | -        | 0,250 | -      | 0,276    | 0,177      | -      | -     |
|        | Mantequilla | -        | 0,721 | -      | 0,251    | 0,091      | -      | -     |
|        | Grasa       | -        | 0,621 | -      | 0,431    | 0,164      | 0,145  | -     |
|        | Queso       | -        | 0,253 | -      | -        | 0,056      | -      | -     |
| IX     | Leche       | -        | 0,423 | -      | 0,030    | 0,037      | 0,023  | -     |
|        | Mantequilla | -        | 0,213 | -      | 0,035    | 0,034      | -      | -     |
|        | Grasa       | -        | 1,757 | -      | 0,049    | 0,109      | 0,005  | 0,157 |
|        | Queso       | -        | 0,629 | -      | 0,079    | 0,014      | -      | -     |
| X      | Leche       | -        | 0,291 | -      | 0,035    | 0,033      | -      | -     |
|        | Mantequilla | -        | 0,268 | -      | 0,025    | 0,032      | -      | 0,006 |
|        | Grasa       | -        | 1,104 | -      | 0,075    | 0,163      | 0,007  | 0,004 |
|        | Queso       | -        | 0,591 | -      | 0,078    | 0,04       | -      | -     |
| XI     | Leche       | -        | 0,218 | -      | -        | -          | -      | -     |
|        | Grasa       | -        | 0,099 | -      | 0,007    | 0,029      | -      | -     |
| XII    | Leche       | -        | 0,486 | -      | 0,245    | -          | -      | -     |
|        | Grasa       | -        | 0,089 | -      | 0,019    | -          | -      | -     |

Fuente: UNEP/GEF 2002

Diez años después del término en 1993 del programa de vigilancia de POCs en alimentos de riesgo que mantenían el Ministerio de Salud, ISP y servicios de salud, se reinicia en el 2003 un muestreo selectivo de POCs y PCBs en leche (ISP 2004). Se analizó un total de 72 muestras de leche en polvo recolectadas del comercio entre noviembre de 2003 y abril de 2004 por el SESMA y los SS de Osorno y Llanquihue; cada una de estas 72 muestras estuvo a su vez conformada por la mezcla de tres submuestras. Las muestras cubrieron trece marcas comerciales. Trece muestras (18%) presentaron DDE en valores que variaron entre trazas y 0,025 ppm de materia grasa, con un promedio de 0,016 ppm; siete muestras (10%) fueron positivas para PCBs, todas con concentraciones de 0,010 ppm de materia grasa. Ninguna muestra dio resultados positivos para aldrín y HCB. De las trece marcas de leche en polvo que se incluyeron en este muestreo, las muestras positivas a DDE estuvieron en una sola marca y las muestras con PCBs estuvieron centradas en otras dos marcas comerciales. No procede evaluar la positividad según región geográfica, dado que las marcas tienen distribución nacional y no se conoce el origen de las leches que conformaron las partidas, incluso cabe destacar que para estos productos no se identificó la proporción entre leches de procedencia nacional y de importación que los conformaban.

Además de la vigilancia del Ministerio de Salud, se han efectuado algunas investigaciones. Un estudio hecho en 1986 en la Provincia de Valdivia, investigó POCs en 84 muestras de leche cruda, de rebaños, antes de ingresar a la planta pasteurizadora (Pinto et al. 1987b y 1990a). Los resultados se presentan en la tabla siguiente.

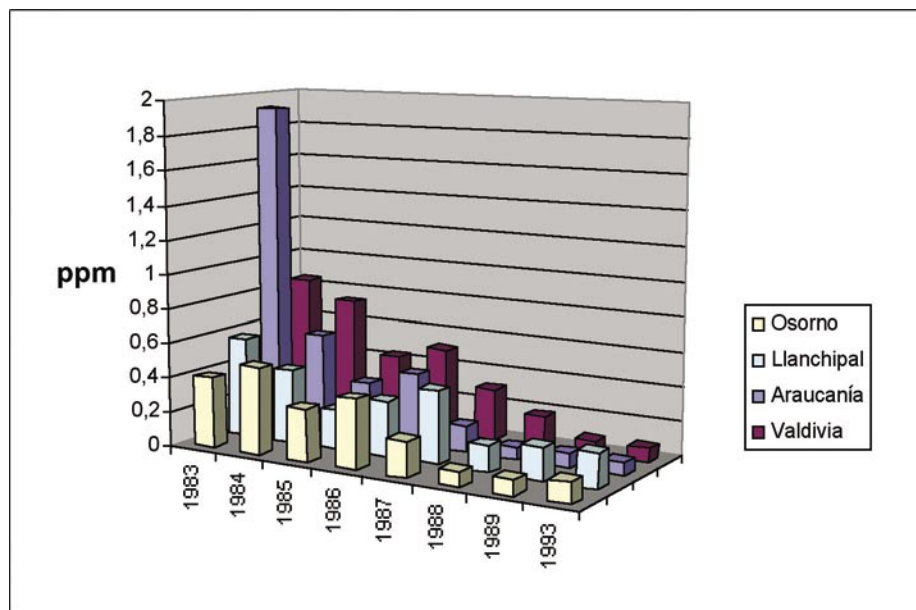
**TABLA Nº 6: VALORES PROMEDIO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN 84 MUESTRAS DE LECHE DE REBAÑOS DE LA PROVINCIA DE VALDIVIA, AÑO 1986. CONCENTRACIÓN EN mg/kg BASE GRASA (PPM) Y PORCENTAJE DE MUESTRAS QUE EXCEDE EL LMR NACIONAL**

| Plaguicida         | Ocurrencia % | Promedio (ppm) | Valor máximo (ppm) | LMR * (ppm) | % muestras sobre LMR |
|--------------------|--------------|----------------|--------------------|-------------|----------------------|
| Endrín             | 24           | 0,121          | 0,716              | 0,02        | 20                   |
| Hexaclorobenceno   | 79           | 0,164          | 0,545              | 0,50        | 4                    |
| Heptacloro+epóxido | 61           | 0,233          | 0,872              | 0,15        | 44                   |
| Aldrín+dielldrín   | 68           | 0,240          | 1,990              | 0,15        | 37                   |
| DDT total          | 81           | 0,652          | 2,05               | 1,25        | 11                   |

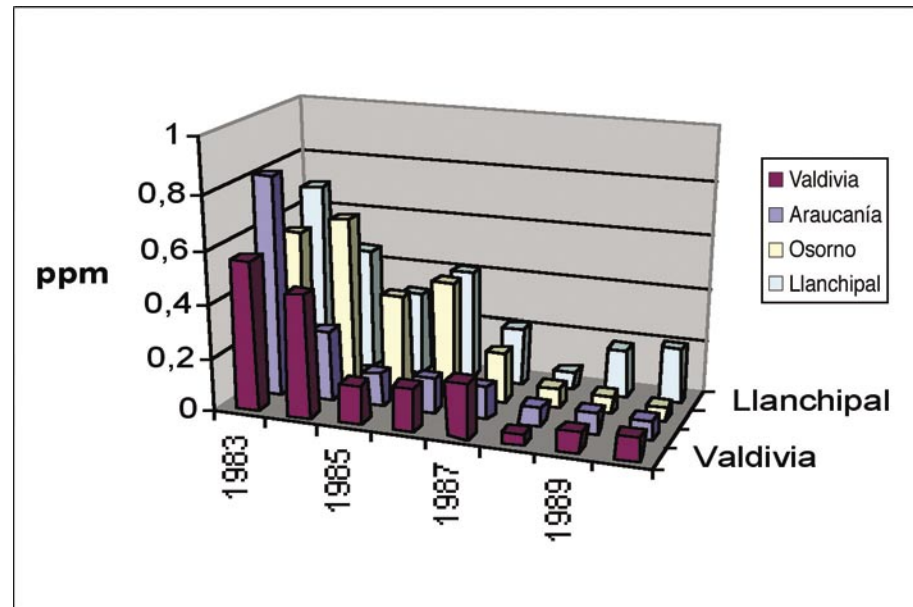
\* Ministerio de Salud 1982b

Los compuestos más frecuentemente detectados (ocurrencia) fueron DDT total (81%), HCB (79%), aldrín+dielldrín (68%) y heptacloro (61%). La mayor parte de los valores de DDT y HCB están por debajo del LMR; en cambio, los de heptacloro y de aldrín+dielldrín tienden a estar por sobre el LMR. La situación del DDT se presenta a 20 meses de haber entrado en vigencia su prohibición.

**FIGURA N° 1: NIVELES DE DDT EN LECHE DE VACA, REGIONES IX Y X, 1983-1993**



**FIGURA Nº 2: NIVELES DE DDT TOTAL EN MANTEQUILLA, REGIONES IX Y X, 1983 - 1993**



Fuente: UNEP/GEF 2002

Otro estudio analizó primero 24 muestras de leche fluida pasteurizada (Pinto et al. 1990a) y a continuación otras 72 muestras (Pinto et al. 1990b), todas ellas tomadas en 1987 en 12 plantas lecheras ubicadas en cuatro regiones (RM, VIII, IX y X) y que en ese momento elaboraban el 98% de la producción de leche pasteurizada del país. Los resultados de las 96 muestras se presentan a continuación.

**TABLA Nº 7: VALORES PROMEDIO DE RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS EN 96 MUESTRAS DE LECHE PASTEURIZADA PROCEDENTES DE 12 PLANTAS LECHERAS (REGIONES METROPOLITANA, VIII, IX Y X), AÑO 1987. CONCENTRACIÓN EN mg/kg (PPM) BASE GRASA POR REGIONES Y PORCENTAJE DE MUESTRAS QUE EXCEDE EL LMR NACIONAL (EN PARÉNTESIS)**

| Plaguicida           | Promedios (ppm) |       |       |       |                         | LMR* |
|----------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------------------------|------|
|                      | RM              | VIII  | IX    | X     | Total (%)               |      |
| DDT total            | 0,205           | 0,311 | 0,456 | 0,257 | 0,303 (4)               | 1,25 |
| Aldrín + Dieldrín    | 0,318           | 0,252 | 0,386 | 0,587 | 0,464 (39)              | 0,15 |
| Heptacloro + epóxido | 0,261           | 0,208 | 0,169 | 0,178 | 0,193 (39) <sub>a</sub> | 0,15 |
| Hexaclorobenceno     | 0,498           | 0,054 | 0,044 | 0,357 | 0,354 (27)              | 0,50 |
| Endrín               | 0,017           | 0,007 | 0,013 | 0,012 | 0,013 (15)              | 0,02 |

\* Ministerio de Salud 1982b.

DDT y aldrín+dielldrín tienden a presentar promedios regionales más altos hacia el sur del país. DDT total muestra los siguientes valores crecientes según regiones: RM 0,205 (0); X 0,257 (4); VIII 0,311 (0) y IX 0,456 (8), observándose de nuevo la diferencia de valores entre el centro y el sur del país ( $0,456 / 0,205 = 2,2$ ). Ningún promedio del DDT sobrepasa el LMR; aun cuando el 64% del total de muestras es positivo al DDT, sólo se sobrepasa el LMR en un 4% de éstas. Los promedios regionales más altos de aldrín+dielldrín están en las Regiones IX y X; además, todos los promedios regionales sobrepasan el LMR entre 2 y 4 veces. El promedio total de aldrín+dielldrín sobrepasa 3 veces el LMR y el del heptacloro también sobrepasa el LMR. La situación relativamente favorable del DDT es detectada a 24 meses de haber entrado en vigencia su prohibición; en cambio, el perfil desfavorable de aldrín+dielldrín y heptacloro ocurre antes de la prohibición oficial del uso de estos dos compuestos en 1988. El HCB fue prohibido en 2002. Estos valores deben tomarse seriamente en cuenta, dado que las plantas que generaron las muestras representaban una muy alta cobertura en el suministro de leche pasteurizada en el país.

Al ordenar comparativamente las concentraciones de DDT en leche de vaca reportadas por diversos estudios hechos en Regiones IX y X (tablas 3, 4, 6 y 7), se ve un notorio descenso de los niveles entre 1982 y 1993: desde 1,198 ppm (IX+X, 1982) y 1,919 ppm (IX, 1983) a valores de 0,321-0,504 ppm (cuatro servicios de salud, 1986); de 0,652 ppm (Valdivia 1986) a 0,456 ppm (IX 1987) y 0,257 ppm (X 1987) y luego a valores entre 0,075-0,200 ppm (X 1993).

Las 32 muestras de leche procesadas en 1979, que proceden de la zona central (Triviño 1982) dieron un promedio de DDT de 0,036 ppm base no grasa, que al convertirse a base grasa da un valor de 1,2 ppm. El estudio de Pinto detecta 8 años después un promedio de 0,205 ppm base grasa para la RM. Aun estando los dos valores por debajo del LMR de 1,25, ocurre un descenso significativo de 6 veces en el nivel de DDT entre los años señalados ( $1,2/0,205 = 5,9$ ).

Investigaciones efectuadas por el INIA entre los años 1987 y 1990 en diferentes matrices ambientales desde la Región IV a la Región XI, incluyó muestras de leche de vaca tomadas en las Regiones Metropolitana, IX y X (INIA 1990). Un resumen de los hallazgos en leche se muestra en la siguiente tabla.

**TABLA Nº 8: CONCENTRACIONES DE POCs MEDIDAS EN LECHE DE VACA EN TRES REGIONES, AÑOS 1987-1989 (mg/L BASE NO GRASA)**

| Región           | Muestras |                 |    | DDT y/o metabolitos<br>Concentración<br>(rango) | Clordano<br>Concentración<br>(rango) | Heptacloro<br>y epóxido<br>Concentración<br>(rango) | Aldrín y/o dielldrín<br>Concentración<br>(rango) |
|------------------|----------|-----------------|----|---|--------------------------------------|---|--|
|                  | Total    | Positivas<br>Nº | %  |   |                                      |   |  |
| RM               | 21       | 19              | 90 | 0,002 pp`DDE<br>(0,001-0,0045)                  | ND<br>-                              | ND<br>-   | 0,0021 dielldrín<br>(0,001-0,0046)               |
| IX               | 14       | 3               | 21 | ND<br>-   | ¿?<br>(0,042-0,162)                  | ND<br>-   | ND<br>-  |
| X                | 25       | 7               | 28 | ¿? DDT total<br>(0,098-0,208)                   | 0,065<br>-                           | ¿?<br>(0,043-0,057)-                                | ND   |
| LMR FAO/OMS 1987 |          |                 |    | 0,05  | 0,002                                | 0,006   | 0,006  |

ND = no detectado



Las leches de la Región Metropolitana provinieron de las principales plantas procesadoras de leche larga vida, deshidratada y pasteurizada que se expenden en los supermercados de la región (no se especifica la procedencia geográfica de las leches) y las muestras de las Regiones IX y X son de leche fresca de los predios productores. Se presentan los plaguicidas detectados. DDT no apareció en las muestras de la RM, endrín no se detectó en IX y X. Los valores de DDT total, DDE y dieldrín estuvieron en general por bajo el LMR respectivo, no así clordano que estuvo siempre sobre el LMR de 0,002 ppm. También destaca el alto grado de ocurrencia de los residuos en la RM en comparación con las Regiones IX y X. Las técnicas simplificadas aplicadas por INIA en esta investigación podrían explicar la frecuente no detección de POCs.

Un hecho para tener presente al comparar estudios de POCs en productos lácteos así como para interpretar el riesgo asociado a las concentraciones encontradas, se refiere a que productos lácteos de una misma fuente pueden mostrar niveles de concentración diferentes en la cadena de leche cruda, pasteurizada, quesos maduros, etc. Varios estudios han demostrado internacionalmente que los procesos tecnológicos para tratar la leche y sus derivados (pasteurización, esterilización, descremado, almacenamiento y maduración de quesos, etc.) reducen las concentraciones de plaguicidas identificadas en leches crudas. A principio de la década de 1990 se efectuó en la Provincia de Valdivia una investigación para determinar el impacto de tales procesos en el nivel de concentración de POCs en distintas fases de tratamiento de la leche (Pinto et al. 1996). Con el heptacloro se verificó que su concentración inicial en leche cruda de 0,829 ppm base grasa (valor 5,5 veces mayor que su LMR de 0,15 ppm) se redujo a 0,664 ppm al pasteurizar la leche, en la etapa de queso sin madurar el valor fue de 0,369 ppm y en la etapa de queso maduro 4 semanas después el nivel fue de 0,116 ppm, representado una reducción total de 86%. El mismo fenómeno se detectó en otros plaguicidas clorados que no son motivo de análisis en este documento.

Finalmente y respecto a plaguicidas clorados en leche de vaca, hay dos estudios acerca de la presencia de POCs en alimentos para el ganado.

El primero buscó en la Provincia de Valdivia en 1986 la presencia de POCs en pradera, heno, concentrados alimenticios y agua de beber (Pinto et al. 1990a y 1990c). Todos los alimentos tienden a presentar altos porcentajes de ocurrencia para la mayor parte de los seis POCs estudiados; los promedios más altos fueron de aldrín, DDT

y HCB en todos los alimentos excepto agua (valores entre 8 y 26 ppm base materia seca), en agua en cambio los valores fluctuaron entre 0,02 y 0,64 mg/L. Se calculó la ingesta diaria de POCs por parte de los animales y se proyectó la concentración de ellos en leche pasteurizada, concluyéndose que se producen valores por encima del LMR con aldrín+dielldrín en 6 veces (0,869 / 0,15) y heptacloro en casi 2 veces (0,222/0,15).

El segundo estudio investigó la presencia de POCs en coseta, subproducto de la producción de azúcar de remolacha, que se usa como alimento de ganado vacuno y porcino (Santa María et al. 1987). La publicación no precisa fecha ni lugar de recolección de las muestras, se presume que ocurrió a mediados de los 80s. Todas las muestras presentaron plaguicidas en concentraciones del orden de los  $\mu\text{g/kg}$  y cuyos promedios son los siguientes: heptacloro 11  $\mu\text{g/kg}$ , aldrín 21  $\mu\text{g/kg}$ , dielldrín 27  $\mu\text{g/kg}$  y heptacloro epóxido 74  $\mu\text{g/kg}$ . Los valores son significativamente menores que los resultados del primer estudio, comparables a los valores que se encontraron en agua. Sin embargo, dos hechos importan en este estudio. Que la coseta es un alimento que representa un riesgo para el ganado y el humano y que es un alimento que se usa además para los porcinos, especie que aparentemente no ha sido considerada en nuestro medio como de riesgo de exposición humana a COPs.

Los PCBs en general han sido poco investigados en leches y derivados. Se encontró un estudio hecho en la Provincia de Valdivia en 1986 en 87 muestras de leche de tres plantas (Fehrmann et al. 1989). Se detectó PCBs en 28 muestras (32%), en 23 (26%) hubo sólo trazas y en 5 (6%) los valores estuvieron entre 0,1 y 1,19 ppm. El promedio de PCBs obtenido a partir de las 28 muestras fue de 0,044 ppm. Ninguna de las muestras sobrepasó el LMR de 1,5 ppm establecido por la FDA en 1977.

Parece adecuado comparar los valores de este estudio en leche de vaca con los obtenidos en leche humana cuatro años después, en 1990, dado que ambos estudios fueron hechos en la provincia de Valdivia (Tamayo et al. 1994). En 60 madres lactantes de Valdivia se obtuvo 180 muestras de leche de las cuales 5 resultaron positivas a PCBs (2,8%) cuyos valores fueron mucho más altos que los de leche de vaca, el promedio fue de 30,3 ppm base grasa. Tal como se adelantó, las concentraciones de POCs en leche humana son de 50 a 100 veces más altas que en leche vacuna. En este caso la diferencia es de casi 700 veces mayor. También en este caso el promedio sobrepasó el LMR de 1,5 ppm en 20 veces. Si bien en la provincia la ocurrencia de PCBs en leche de vaca es rela-

tivamente alta, los niveles son muy bajos y no sobrepasan el LMR; en cambio, en leche humana la ocurrencia resultó muy baja pero los niveles fueron muy altos.

### COPs en carne y grasa de vacunos

Poco después de la publicación de las resoluciones N° 4 de 1983 y N° 639 de 1984, ambas del Ministerio de Agricultura, se efectuó una serie de mediciones del contenido de POCs y de PCBs en 1.000 muestras de grasa perirrenal de bovinos procedentes en su gran mayoría de mataderos de las Regiones IX y X y en una reducida cantidad de la XI Región (Pinto et al. 1986 y 1987a, Montes et al. 1986 y 1988, Tamayo et al. 1987). Las muestras se recolectaron entre 1984 y 1985. Estos estudios son de importancia dado que las Regiones IX y X han sido las de más alta producción de carne de vacuno en el país.

En las tres tablas siguientes se presenta un consolidado de los resultados de las publicaciones relativas a POCs, mediante un perfil de muestras positivas y negativas según plaguicidas y provincias y la proporción que sobrepasa el límite máximo admisible del residuo en carnes de vacuno. Para dar un criterio de peligrosidad a los resultados positivos, los autores presentan los valores de la dosis letal 50 (DL<sub>50</sub>) de cada compuesto, en el supuesto de una exposición peligrosa por consumo excesivo por parte de algún individuo de carne de vacuno con niveles altos de plaguicida.

**TABLA N° 9: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL HALLAZGO DE POCs EN GRASA PERIRRENAL DE VACUNO DE LAS REGIONES IX, X Y XI; CHILE, AÑOS 1984 Y 1985**

| Plaguicida                      | DL <sub>50</sub><br>(mg/kg peso) | LMA *        | LMR ** | Muestras negativas (%) | Muestras positivas (%) |       |       |
|---------------------------------|----------------------------------|--------------|--------|------------------------|------------------------|-------|-------|
|                                 |                                  |              |        |                        | Total                  | < LMA | > LMA |
| Endrín                          | 3                                | 0,30         | 0,1    | 72,1                   | 27,9                   | 25,3  | 2,6   |
| Aldrín                          | 39                               | 0,03         | NE     | 22,7                   | 77,3                   | 2,5   | 74,8  |
| Heptacloro y heptacloro epóxido | 40<br>62                         | 0,30         | 0,2    | 39,9                   | 60,1                   | 43,2  | 16,9  |
| Dieldrín + Aldrín               | 46                               | 0,30<br>0,03 | 0,2    | 68,8                   | 31,2                   | 12,6  | 18,6  |
| DDT total                       | 113                              | 5,0          | 7,0    | 13,5                   | 86,9                   | 69,2  | 17,7  |
| Clordano                        | 283                              | 0,30         | 0,05   | 54,4                   | 45,6                   | 44,9  | 0,7   |
| Hexaclorobenceno                | 10.000                           | 0,50         | 1,0    | 11,9                   | 88,1                   | 18,6  | 69,5  |
| Toxafeno                        | 40                               | 7,0          | NE     | 88,4                   | 11,6                   | 11,6  | 0,0   |
| Mirex                           | 235                              | 0,10         | NE     | 95,0                   | 5,0                    | 2,3   | 2,7   |

\* LMA, límite máximo admisible (ppm base grasa) establecido por los autores, valores contra los cuales se confrontan los porcentajes encontrados

\*\* LMR, límite máximo de residuos permitidos (ppm base grasa), establecido por el Ministerio de Salud (Resolución N° 1450)

NE = No especificado

**TABLA Nº 10: PORCENTAJE DE MUESTRAS DE GRASA PERIRRENAL DE VACUNO POSITIVAS PARA POCs QUE SOBREPASAN EL LMA, SEGÚN PROVINCIA. REGIONES IX, X Y XI; CHILE, AÑOS 1984 Y 1985**

| Provincia    | Total muestras | Promedio muestras positivas a POCs | Porcentaje que sobrepasa el LMA |
|--------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Malleco      | 75             | 17,3                               | 23,0                            |
| Cautín       | 425            | 103,4                              | 24,3                            |
| Valdivia     | 143            | 28,9                               | 20,2                            |
| Osorno       | 188            | 45,3                               | 24,1                            |
| Llanquihue   | 128            | 23,3                               | 18,2                            |
| Chiloé       | 23             | 4,0                                | 17,4                            |
| Palena       | 5              | 0,7                                | 14,0                            |
| Aysén        | 13             | 3,1                                | 23,8                            |
| <b>Total</b> | <b>1.000</b>   | <b>226,0</b>                       | <b>22,6</b>                     |

**TABLA Nº 11: PORCENTAJE DE MUESTRAS DE GRASA PERIRRENAL DE VACUNO POSITIVAS PARA POCs QUE SOBREPASAN EL LMA SEGÚN PLAGUICIDA Y SEGÚN PROVINCIA. REGIONES IX, X Y XI; CHILE, AÑOS 1984 Y 1985**

| Plaguicida         | Malleco | Cautín | Valdivia | Osorno | Llanquihue | Chiloé | Palena | Aysén | Total |
|--------------------|---------|--------|----------|--------|------------|--------|--------|-------|-------|
| Endrín             | 0       | 3      | 8        | 0      | 1          | 0      | 0      | 0     | 2,6   |
| Aldrín             | 97      | 71     | 58       | 90     | 76         | 52     | 60     | 85    | 74,8  |
| Heptacloro+epóxido | 11      | 25     | 17       | 3      | 15         | 9      | 0      | 15    | 16,9  |
| Dieldrín+aldrín    | 61      | 20     | 23       | 2      | 10         | 4      | 0      | 15    | 18,6  |
| DDT total          | 1       | 25     | 1        | 33     | 3          | 4      | 0      | 0     | 17,7  |
| Clordano           | 0       | 1      | 0        | 0      | 2          | 0      | 0      | 15    | 0,7   |
| Hexaclorobenceno   | 37      | 71     | 73       | 88     | 52         | 87     | 60     | 61    | 69,5  |
| Toxafeno           | 0       | 0      | 0        | 0      | 0          | 0      | 0      | 0     | 0,0   |
| Mirex              | 0       | 4      | 0        | 1      | 5          | 0      | 0      | 23    | 2,7   |

Los resultados en las tablas 9, 10 y 11 se analizan en función de los LMA que proponen los autores, valores que en general –salvo para DDT y HCB– eran más permisibles que la norma del Ministerio de Salud en ese momento, la cual se ha mantenido vigente hasta la actualidad, excepto para el DDT cuyo LRM bajó de 7 a 5 ppm.

El alto porcentaje de muestras positivas al hexaclorobenceno (88%), DDT (87%), aldrín (77%) y heptacloro (60%), estaría demostrando su uso generalizado en suelos y praderas; además, refleja sus altas persistencias en los suelos. El 22,6% de las muestras excedió el LMA, lo que señala una tendencia entre moderada y baja (0-18,6 %) a que las concentraciones de POCs sobrepasen dicho límite, con la excepción de aldrín y HCB en los que ~70% de las muestras sí lo superan. Llama la atención los niveles muy bajos de endrín, toxafeno y mirex, que son además los plaguicidas menos prevalentes en la muestra total (72%, 88% y 95% de muestras negativas, respectivamente); además, endrín, clordano, toxafeno y mirex son los que más frecuentemente se mantuvieron sin sobrepasar el LMA según provincias y cuando lo hicieron fue en porcentajes muy bajos. Las provincias entre sí no mostraron grandes diferencias en la proporción de muestras que sobrepasa el LMA, los valores estuvieron entre 14% y 24,3%. Las Provincias de Cautín y Osorno son las que más frecuentemente sobrepasan el LMA para el conjunto de POCs (>24%).

En cuanto al riesgo asociado al aldrín y HCB, el bajo valor de la DL<sub>50</sub> del aldrín (39) implicó un potencial de peligro agudo ante el consumo del universo de carnes que generó el 75% de muestras positivas al aldrín que sobrepasaron el LMA. Esta situación no ocurrió con el HCB por su muy bajo riesgo de toxicidad aguda (DL<sub>50</sub> 10.000). Además, los datos por provincias señalan que las muestras positivas para aldrín sobrepasan el LMA en todas ellas de modo permanentemente alto, fluctuando entre 52% y 97%; los valores más altos son 97% en Malleco y 90% en Osorno. El HCB mostró un perfil similar, todas las provincias tuvieron valores por encima del LMA, con porcentajes que variaron entre 37% y 88%.

Los altos niveles de exposición a POCs por el consumo de carnes en todas las provincias de las Regiones IX y X, lo que se concluye de las cifras de las tres tablas precedentes, adicionalmente significan a largo plazo en esas comunidades un riesgo de cáncer que no se debe descartar, dependiendo la magnitud de este riesgo del tiempo que tal situación se haya mantenido. La inquietud se fundamenta en que

seis de los COPs están clasificados por IARC en el grupo 2B como posibles carcinógenos para humanos y el resto en el grupo 3 (Anexo 7). Además, hay antecedentes de que el aldrín en animales produce cáncer de hígado y que el HCB en animales por exposición oral produce cáncer de hígado y cáncer de vías biliares (fuerte asociación) y también de riñón y de tiroides, y que además la exposición respiratoria de tipo ocupacional al HCB ha proporcionado evidencias, aunque débiles, de asociación con cáncer de hígado y tiroides (Anexo 5).

En un 82,3% las muestras positivas a DDT estuvieron dentro del límite permitido, el LMA se sobrepasó en 177 de las 1.000 muestras (17,7%), lo que ocurrió en 6 de las 8 provincias, siendo Cautín y Osorno las provincias en que se concentran respectivamente 106 (25%) y 63 (33%) de estas muestras transgresoras. Así, en casi un 100% esta situación adversa (169 de las 177 muestras), ocurre en estas dos provincias. Esto coincide con los hallazgos para DDT en leche en la IX Región. Aparentemente en el resto de las provincias se ha usado de mejor manera el DDT, ya que los porcentajes sobre el LMA fluctúan entre 1 y 4%.

Destaca en todo sentido la baja presencia de toxafeno y mirex, los que por sus bajas cifras de ocurrencia no representarían un problema mayor de salud pública, salvo si presentaran efectos toxicodinámicos aditivos o sinérgicos para alguna manifestación adversa específica con el resto de los POCs, como por ejemplo, cáncer. Ambos plaguicidas se encuentran clasificados como posiblemente carcinogénicos para humanos (Grupo 2B) según la IARC (Anexo 7). Por lo menos desde el año 1984 no existe registro de estos dos plaguicidas por parte del SAG; no obstante, el Ministerio de Agricultura prohibió su uso mediante sendas resoluciones en 1998 y 2002 respectivamente. Es probable que estos compuestos hayan ingresado sin restricciones al país en el periodo previo a 1984 en que no se exigió registro ni autorización de ingreso para los plaguicidas.

Un nuevo estudio, quizás en 1986 (no se precisa fecha), en Temuco, IX Región, efectuó medición de DDT en 69 muestras de grasa perirrenal de vacunos faenados en un matadero local, tomadas en primavera y otoño (López 1987). La elección de determinar DDT se fundamenta en el antecedente que da el autor de que “el DDT se utiliza con profusión en praderas de la IX Región”. La ocurrencia del plaguicida fue alta, 66 muestras (96%) resultaron contaminadas con DDT y 63 (91%) con DDE. La tabla siguiente resume los resultados.

**TABLA Nº 12: CONCENTRACIONES (mg/kg) DE DDT Y DDE EN MUESTRAS DE GRASA PERIRRENAL DE VACUNOS PROCEDENTES DE MATADERO DE CIUDAD DE TEMUCO, CHILE; ¿1986?**

| Estación  | Nº de muestras | p, p` DDT<br>Promedio y margen (ppm) | DDE<br>Promedio y margen (ppm) |
|-----------|----------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Primavera | 23             | 0,460<br>(0,044-2,023)               | 0,130<br>(0,014-0,554)         |
| Otoño     | 46             | 0,340<br>(0,037-1,655)               | 0,062<br>(0,004-0,267)         |

Los valores encontrados están dentro de los límites nacionales e internacionales permitidos, incluso el valor extremo superior del DDT. Hay un predominio del DDT sobre el DDE, lo que indica que los niveles detectados reflejan una exposición reciente más que antigua de los vacunos. Las diferencias entre primavera y otoño se deberían a variaciones estacionales en la acumulación de grasa corporal en los animales y a la disminución de los niveles del DDT en las empastadas entre épocas de aplicación en invierno y el otoño siguiente.

Otro estudio también exploró presencia de POCs en carnes y en grasa perirrenal de vacunos (INIA 1990). Las muestras de carne se tomaron en la Región Metropolitana y las muestras de grasa provienen desde la Región Metropolitana hasta la Región XI. A continuación se presentan los resultados de estos estudios.

**TABLA Nº 13: CONCENTRACIONES DE POCs EN 30 MUESTRAS DE CARNE VACUNA TOMADAS EN CARNICERÍAS DE LA REGIÓN METROPOLITANA, EN mg/kg; AÑO 1987**

| Compuesto          | Nº muestras<br>positivas | Porcentaje de<br>positividad (ocurrencia) | Concentración<br>promedio, ppm | Rango<br>concentraciones | LMR, ppm* |
|--------------------|--------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|-----------|
| DDT total          | 7                        | 23  | 0,169                          | 0,011-0,357              | 5,0       |
| DDE                | 6                        | 20  | 0,117                          | 0,011-0,244              | 5,0       |
| Aldrín             | 1                        | 3   | 0,107                          | -                        | 0,2       |
| Dieldrín           | 14                       | 47  | 0,263                          | 0,021-2,203              | 0,2       |
| Heptacloro         | 13                       | 43  | 0,090                          | 0,004-0,500              | 0,2       |
| Heptacloro epóxido | 23                       | 77  | 0,148                          | 0,017-0,640              | 0,2       |
| Clordano           | 8                        | 27  | 0,149                          | 0,024-0,800              | 0,05      |

Fuente: INIA 1990

\* Según FAO/OMS 1987

Un 30% de las muestras positivas a POCs tuvo al menos la presencia de dos compuestos simultáneos, un 34% de las muestras tuvo tres plaguicidas y el 36% restante mostró la presencia de 4 o más compuestos. DDT y metabolitos fueron poco frecuentes en las muestras y presentaron concentraciones bajas, todas dentro del LMR. Heptacloro y dieldrín aparecieron con alta frecuencia y sus concentraciones con frecuencia sobrepasaron el LMR, lo que también ocurrió con el clordano. Según los criterios de FAO/OMS, se estimó que un 23% de las carnes muestreadas debería ser rechazado.

**TABLA N° 14: CONCENTRACIONES DE POCs EN 110 MUESTRAS DE GRASA PERIRRENAL DE BOVINOS PROCEDENTES DE MATADEROS, REGIONES METROPOLITANA A XI, EN mg/kg; AÑOS 1987-1989**

| Región                         | N° muestras | DDT y metabolitos                    | Heptacloro y epóxido                 | Aldrín y dieldrín                    | Endrín                               |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| RM                             | 15          | 0,007                                | 0,005                                | 0,019                                | ND                                   |
| VI                             | 14          | 0,015                                | 0,008                                | 0,031                                | ND                                   |
| VII                            | 14          | 0,011                                | 0,008                                | 0,020                                | ND                                   |
| VIII                           | 18          | 0,014                                | 0,030                                | 0,014                                | 0,005                                |
| IX                             | 17          | 0,048                                | 0,014                                | 0,020                                | ND                                   |
| X                              | 18          | 0,060                                | 0,014                                | 0,017                                | 0,016                                |
| XI                             | 14          | 0,018                                | 0,027                                | ND                                   | ND                                   |
| <b>Promedio total y margen</b> | -           | <b>0,022</b><br><b>(0,001-0,320)</b> | <b>0,013</b><br><b>(0,001-0,074)</b> | <b>0,021</b><br><b>(0,002-0,129)</b> | <b>0,012</b><br><b>(0,005-0,018)</b> |
| <b>% &gt; LMR</b>              | <b>0</b>    | <b>0</b>                             | <b>0</b>                             | <b>0</b>                             | <b>0</b>                             |

Fuente: INIA 1990

De las 110 muestras, 87 (79%) mostraron resultados positivos a uno o más plaguicidas. Todas las regiones mostraron presencia de POCs en sus muestras, demostrando la extensión de este tipo de contaminación en la zona del país que más ha estado expuesta al uso de estos compuestos debido a sus características productivas, de corte agropecuario. La VII Región tuvo todas sus muestras positivas y en el otro extremo la VIII tuvo un 56% de muestras positivas, IX y X tuvieron 88% y 89% de positividad respectivamente. Los compuestos más frecuentemente encontrados (% de ocurrencia) fueron 46% aldrín/dieldrín, 38% DDT y metabolitos y 32% heptacloro y su epóxido. Endrín sólo se encontró en un 3%. Cabe señalar que el 38% del DDT total se desglosa en 4% DDT y 34% DDE, que estaría demostrando un predominio de contaminación antigua. Hecho destacado es que todas las muestras positivas mostraron valores, tanto promedios como valores extremos, que estuvieron bajo los límites vigentes nacional e internacional (INIA 1990, Bergqvist et al. 1990).

Al comparar los resultados que este estudio de INIA obtuvo en leche fresca de las Regiones IX y X con los de grasa perirrenal de las mismas regiones, se ve que la frecuencia en la detección de POCs es menor en leche que en grasa, las ocurrencias en leche en dichas regiones fueron de 21% (IX) y de 28% (X) versus los de grasa de 88% (IX) y 89% (X). Las razones POCs grasa / POCs leche son 4,2 y 3,2 para IX y X

Regiones respectivamente, con la advertencia de que los porcentajes de leche y de grasa no proceden de los mismos animales. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de varios otros estudios internacionales. Cabe recordar que en los estudios en humanos la razón DDT grasa / DDT leche mostró igualmente una mayor concentración del plaguicida en la grasa con razones que fluctuaron entre 13,4 y 18,7 (Tabla N° 1).

La vigilancia de plaguicidas en alimentos por parte del ISP exploró también la presencia de COPs en carnes y en grasa de vacunos. En la tabla N° 5 se presentan los valores promedio para el periodo 1983-1989 y 1993 obtenidos para algunos COPs en carne y grasa según regiones. Se ve la tendencia a aumentar la concentración de DDT total en la grasa a medida que se avanza desde el centro del país hacia la X Región, con los valores más altos en la IX y en la X, de 1,757 y 1,104 ppm respectivamente. Estos valores son varias veces más altos que en la zona central pero aun así están bastante por bajo los LMR de FAO/OMS (5,0 ppm) y de Chile (7,0 ppm) vigentes para la época. El dieldrín presenta el valor más alto en la VIII Región, de 0,431 ppm, el doble del LMR de 0,2 ppm. Los valores altos de heptacloro en las Regiones VIII y X están dentro del LMR de 0,2 ppm.

Un análisis para carne similar al antes presentado para productos lácteos a partir del total de muestras para carne acumuladas por el programa de vigilancia en las Regiones V a XII entre los años 1983-1989 y 1993 (Tabla N° 5), muestra que en cifras promedios para este período el DDT fue el compuesto que presentó la concentración más alta en carnes (0,423 mg/kg), le siguen dieldrín (0,236 mg/kg), heptacloro (0,238 mg/kg) y clordano (0,149 mg/kg) (UNEP/GEF 2002). Tanto en leche de vaca como en carne, DDT, dieldrín y heptacloro ocupan en este orden los tres primeros niveles de mayor concentración.

Otro estudio investigó la presencia de PCBs en las 1.000 muestras de carnes bovinas de las Regiones IX, X y XI recolectadas entre 1984 y 1985 (Tamayo et al. 1987). Se encontró residuos de PCBs en 39 muestras (3,9%). El porcentaje en la Región IX fue de 6,8 y en la Región X de 1,0. El total de las muestras positivas en la IX región se ubicó en la provincia de Cautín, por lo que el porcentaje provincial por tanto fue de 8%. Las 5 muestras de la X Región se distribuyen desde Osorno a Chiloé, lo que da un valor de 2,5% para el conjunto de estas tres provincias.

La mayor parte de las 39 muestras positivas estuvo en la categoría de trazas, con 31 muestras (79%); las 8 restantes se ubicaron en el intervalo 1-3,0 mg/kg grasa. Todas las muestras positivas

estuvieron bajo el valor del LMR establecido en 1987 por la FDA, de 3 ppm para carnes rojas. Este perfil es muy similar al descrito para PCBs en leche de vaca por Fehrmann en 1986 en la Provincia de Valdivia.

La exposición del ganado a los PCBs debe ser accidental. Es llamativa la gran diferencia entre las dos regiones en cuanto a positividad de los resultados. Este hallazgo en carnes necesariamente conlleva la presencia de PCBs en la leche del ganado que resultó positivo, aunque quizá en niveles no tan peligrosos dado que se ha demostrado que la eliminación de PCBs por la leche es proporcional al nivel de exposición (que en este caso parece no haber sido alta) y a la carga corporal del compuesto (OPS 1979).

### COPs en huevos de consumo

Varios estudios en el extranjero han demostrado la acumulación en las gallinas de compuestos organoclorados provenientes de la dieta y el paso de éstos a la materia grasa del huevo. En Chile surgió durante la década de 1980 el interés por conocer la situación nacional. Se detectó cuatro documentos con exploraciones realizadas entre 1986 y 1988 para medir COPs en huevos para consumo humano, que corresponden estrictamente a tres estudios ya que uno de ellos presentó resultados en dos documentos independientes. Los tres estudios se efectuaron en la zona central de Chile, dos de ellos en la Región Metropolitana (RM).

El primer estudio identificado analizó 80 unidades en 1986, procedentes de 8 planteles productores de la RM (10 huevos por cada productor) (Marcus et al. 1987). Seis de los planteles mostraron presencia cuantificable de dieldrín pero en muy bajas concentraciones, en las muestras de los otros dos se detectó sólo trazas. Las concentraciones de dieldrín en huevo total fluctuaron entre 0,002 y 0,008 ppm y fueron entre 50 y 100 veces menores al LMR de 0,1 ppm de la norma chilena y de FAO/OMS.

De los 6 planteles que mostraron dieldrín en sus productos, se seleccionaron 3 para efectuar una nueva evaluación en 1987 (Marcus et al. 1989, INIA 1990). Se procesaron 27 muestras (9 huevos por cada productor) para una amplia gama de COPs y en el 100% de ellas sólo se encontró dieldrín. La concentración promedio general de dieldrín en las 27 muestras fue de 0,0045 ppm, con un margen de 0,0024 a 0,0090 ppm. Los tres productores por separado tuvieron los siguientes promedios para cada conjunto de 9 huevos: 0,0055 ppm, 0,0043 ppm y 0,0038 ppm. Nuevamente los niveles están muy por debajo de

la norma chilena de 0,1 ppm, lo que hizo concluir a los autores que estos huevos no constituyen riesgo para el consumidor.

El tercer estudio investigó en 1988 la presencia de una amplia gama de POCs en 20 huevos tomados de 10 establecimientos comerciales en la zona central del país, no especificando las localidades (Montes et al. 1989). Los promedios y sus rangos en los plaguicidas detectados se muestran en la siguiente tabla.

**TABLA Nº 15: CONCENTRACIONES PROMEDIO DE POCs EN HUEVO TOTAL (PPM) Y GRADO DE POSITIVIDAD EN LAS MUESTRAS. CHILE, ZONA CENTRAL, 1988**

| Plaguicida           | Nº muestras positivas<br>(% ocurrencia)<br>n = 20 | LMR ppm |      | Promedio (ppm) | Rango (ppm)   |
|----------------------|---|---------|------|----------------|---------------|
|                      |   | Chile   | FDA  |                |               |
| Aldrín+dieldrín      | 15 (75)   | 0,1     | 0,03 | 0,0207         | 0,0052-0,0718 |
| Heptacloro y epóxido | 14 (70)   | 0,05    | 0,03 | 0,0057         | 0,0012-0,0265 |
| DDT y metabolitos    | 13 (65)   | 0,5     | 0,5  | 0,0283         | 0,0011-0,2697 |
| Endrín               | 12 (60)   | 0,2     | 0,03 | 0,0040         | 0,0008-0,0180 |
| Hexaclorobenceno     | 3 (15)  | 1       | 0,05 | 0,0008         | 0,0004-0,0041 |

En general los POCs se detectan con alta frecuencia, entre el 60% y 75% de las muestras. El COP más difundido es este estudio fue la mezcla aldrín+dieldrín. Se buscó mirex con técnicas de gran sensibilidad pero no se le detectó. Este tercer estudio nuevamente encuentra valores promedio y valores individuales todos ellos dentro de la norma nacional, incluso casi en su totalidad dentro de los límites de la FDA que son más estrictos, ya que un 25% de las muestras positivas a aldrín+dieldrín está por encima de este límite.

No obstante todo lo anterior, cabe recordar que al evaluar la exposición a COPs por vía oral, el aporte de los huevos debe sumarse al de una diversidad de otros alimentos que contribuirán a las dosis totales de los diversos plaguicidas.

La presencia y la magnitud del contenido de COPs en los huevos reflejan el grado de contaminación de los alimentos concentrados para aves de criaderos industriales, ya que este tipo de aves tiene acceso limitado al medio silvestre eventualmente contaminado.

En resumen, el compuesto más frecuentemente detectado en huevos fue dieldrín, en concentraciones muy por debajo del LMR. Otros POCs detectados también estuvieron por bajo el LMR. Las concentraciones extremadamente bajas de POCs identificados en las muestras de huevos no representan un peligro significativo para los humanos.



### COPs en frutas

Un sondeo preliminar se hizo en 1980 en la Región VI (Ministerio de Salud 1982a). En siete muestras de manzana se encontró aldrín en dos de ellas, con un promedio de 0,01 ppm.

Entre 1982 y 1983 se efectuó un estudio prospectivo para determinar POCs en **frutas y hortalizas de consumo interno** producidas en cinco comunas del valle del Aconcagua (INIA 1986). Se procesó 91 muestras de durazno, uva y tomate; sólo 36 muestras (40%) resultaron positivas a POCs pero en su mayoría (32 de 36) lo fueron a niveles traza para dieldrín, endrín, DDT, DDE y DDD; sólo se cuantificó aldrín en 4 muestras con un promedio de 0,007 mg/kg de materia seca. Los plaguicidas más frecuentes como traza fueron dieldrín (19%) y DDT y metabolitos (13%). Los límites de detección para niveles traza variaron entre 0,003 y 0,006 mg/kg según el plaguicida. Todos los valores encontrados estuvieron bastante por debajo del límite extraño de residuo (LER). También en este estudio se exploró el nivel de contaminación de 58 muestras de durazno en conserva, todas las cuales mostraron niveles de residuos por debajo del límite de detección.

El mismo proyecto anterior del valle del Aconcagua efectuó en 1984 y 1985 un estudio prospectivo para determinar POCs en **frutas de exportación**, en 44 muestras procedentes de la Región V y además de las regiones Metropolitana, VI y VII (INIA 1986, Ciudad et al. 1987). Se estudiaron muestras de uva, pera, manzana, nectarino y ciruela; sólo uva, nectarino y ciruela proceden exclusivamente de la Región V. Se rastreó la presencia de cinco plaguicidas clorados considerados como los de mayor ocurrencia en la zona central del país. En la siguiente tabla se presenta la frecuencia de detección y magnitud de concentración de los dos compuestos que fueron detectados, aldrín y dieldrín. En 27 muestras de frutas en que se buscó TDE, sólo en dos (7%) se informó de presencia de trazas.

**TABLA Nº 16: GRADO DE OCURRENCIA Y NIVELES DE CONCENTRACIÓN ( $\mu\text{g/kg}$ ) DE ALDRÍN Y DIELDRÍN EN FRUTAS DE EXPORTACIÓN PROCEDENTES DE LAS REGIONES V A VII, CHILE; AÑOS 1984 Y 1985.**

| Fruta     | n  | Aldrín |          |                  |               |             | Dieldrín |          |                  |               |             |   |
|-----------|----|--------|----------|------------------|---------------|-------------|----------|----------|------------------|---------------|-------------|---|
|           |    | nd     | Positivo | Promedio (µg/kg) | Rango (µg/kg) | LMR EPA ppb | nd       | Positivo | Promedio (µg/kg) | Rango (µg/kg) | LMR EPA ppb |   |
| Uva       | 22 | 15     | 7        | 0,6              | 0,5-0,8       | 100         | 5        | 17       | 1,6              | 0,5-0,6       | 100         |   |
| Pera      | 6  | 0      | 6        | 4,3              | 0,8-9,5       | 0           | 6        | 0        | -                | -             | 100         |   |
| Manzana   | 12 | 0      | 12       | 4,4              | 0,4-14,4      | 0           | 12       | 0        | -                | -             | 100         |   |
| Nectarino | 2  | 2      | 0        | -                | -             | 100         | 0        | 2        | 1,5              | 1,4-1,5       | 100         |   |
| Ciruela   | 2  | 1      | 1        | 7,0              | -             | 100         | 0        | 2        | 0,6              | 0,4-0,7       | 100         |   |
| Total     | Nº | 44     | 18       | 26               | 3,3           | 0,4-14,4    | -        | 23       | 21               | 1,5           | 0,4-1,5     | - |
|           | %  | 100    | 41       | 59               | -             | -           | -        | 52       | 48               | -             | -           | - |

nd = No detectado

La ocurrencia general del aldrín fue de 59% y la del dieldrín de 48%, o sea, ocurrencias relativamente altas, pero las concentraciones medidas fueron muy bajas, muy cercanas a los niveles traza. No obstante, en el caso del aldrín en pera y manzana el valor promedio está por sobre el LMR de valor cero. En el resto de las situaciones los valores de aldrín y dieldrín están muy por debajo del LMR. Estas concentraciones se detectan en épocas en que aún en Chile no se prohibían estos dos plaguicidas, lo cual demuestra que los productores observan las medidas técnicas en el manejo de los plaguicidas. Los autores concluyeron que la magnitud de los residuos detectados no debieran ser motivo de rechazo. También concluyen que la explicación de la presencia de estos POCs se debería a su persistencia en los suelos y a la absorción radicular.

El proyecto prospectivo desarrollado por INIA entre 1987 y 1990, ya mencionado, también incluyó el análisis de COPs en **frutas de exportación**. En 1987 se tomaron muestras de uva, nectarinos y manzanas entre las Regiones III y VI. En general, los hallazgos positivos fueron escasos, del orden del 11,2% y sólo para dos plaguicidas con niveles de concentración muy bajos (INIA 1990, Ciudad et al. 1989). Los resultados se muestran a continuación.

**TABLA N° 17: NÚMERO DE MUESTRAS DE FRUTA DE EXPORTACIÓN CON RESIDUOS DE POCs, REGIONES III A VI, CHILE; AÑO 1987**

| Fruta      | N° muestras | N° muestras positivas por Regiones |    |    |    |    | Muestras positivas |      |
|------------|-------------|------------------------------------|----|----|----|----|--------------------|------|
|            |             | III                                | IV | V  | RM | VI | N°                 | %    |
| Uva        | 73          | nd                                 | nd | 4  | 5  | nd | 9                  | 12,3 |
| Nectarinos | 22          | nd                                 | nd | 3  | nd | nd | 3                  | 13,7 |
| Manzana    | 12          | nd                                 | nd | nd | nd | nd | 0                  | 0    |
| Total      | 107         | -                                  | -  | 7  | 5  | -  | 12                 | 11,2 |

nd = No detectado

Dieldrín es el compuesto más frecuente. Las 7 muestras positivas de la Región V corresponden todas a dieldrín, detectado entre nivel traza y 3 ppb. De las 5 muestras de uva de la RM en cuatro se detectó dieldrín y en una aldrín, todas a nivel traza. Todas las muestras positivas estuvieron muy por debajo del valor del LMR para el dieldrín en uvas y nectarinos para fines de exportación (100 ppb). Los autores concluyen que por la baja ocurrencia y las muy bajas concentraciones, estas frutas no representarían riesgo. Este estudio se hizo antes que las prohibiciones tuvieran alguna influencia, aldrín fue prohibido en noviembre de 1988 y dieldrín en octubre de 1987.

Otro estudio en **frutas y hortalizas de consumo interno**, encargado a terceros por SERNAC en 1995, buscó residuos de plaguicidas en un total de 20 muestras de tomate, duraznos y nectarinos procedentes de las Regiones IV, V y VI. No se encontró residuos de plaguicidas COPs (Referido por Barra et al 1995a).

Una determinación más reciente de plaguicidas clorados en **frutas de exportación** se efectuó entre fines del 2000 e inicio del 2002. Se analizaron casi 850 muestras de 13 tipos de frutas y hortalizas frescas procedentes de entre las Regiones III y X (FDF et al. 2002). Se investigó a siete de los nueve plaguicidas COPs, no incluyéndose mirex ni toxafeno. No se detectó residuos de ninguno de ellos.

En resumen, tres de los cinco estudios identificados que hicieron mediciones en frutas entre 1982 y 2002, lo hicieron centrados en productos de exportación. En general la ocurrencia de los POCs fue del 50% o menos pero en concentraciones muy por debajo el LMR, a menudo a nivel traza o no fueron detectados. El compuesto más frecuentemente identificado fue el dieldrín. La ocurrencia mediana o baja en concentraciones muy bajas le dan un carácter de muy bajo riesgo a estos productos.

### **COPs en otros alimentos**

El proyecto desarrollado por INIA entre 1987-1990 incluyó el análisis de aceites comestibles. No se encontró residuos de POCs en muestras de diferentes tipos de aceite, incluso habiendo usado técnica analítica de alta sensibilidad.

Se estudió además el contenido de COPs en harinas de trigo procedentes de 5 molinos de la RM; se detectó presencia de cuatro plaguicidas, pero en niveles promedios muy bajos, cercanos a niveles traza, incluso las concentraciones máximas no sobrepasan el LMR. Los POCs más frecuentes en las muestras fueron aldrín y dieldrín, tal como se muestra en la tabla siguiente.

**TABLA N° 18: CONCENTRACIONES Y OCURRENCIA DE POCs EN 17 MUESTRAS HARINA DE TRIGO PROCEDENTES DE MOLINOS DE LA REGIÓN METROPOLITANA, 1987-1988**

| Plaguicida | N° muestras positivas | Promedio ppm | Rango ppm     | % ocurrencia | LMR* |
|------------|-----------------------|--------------|---------------|--------------|------|
| Aldrín     | 12                    | 0,0014       | 0,0006-0,0048 | 71           | 0,20 |
| Dieldrín   | 14                    | 0,0012       | 0,0008-0,0070 | 82           | 0,02 |
| DDE        | 4                     | 0,0009       | 0,0006-0,0012 | 24           | 0,10 |
| Clordano   | 1                     | 0,0006       | -             | 1            | 0,05 |

\* FAO/OMS 1987

El programa de vigilancia de alimentos del ISP también analizó muestras de harina de trigo. Las concentraciones resultaron muy bajas y homogéneas. Del conjunto de alimentos analizados por dicho programa, las harinas son el alimento que muestra las concentraciones más bajas de plaguicidas clorados. Las concentraciones obtenidas para aldrín, dieldrín, DDT y clordano en muestras de la Región V y RM fueron de 0,001 ppm (Tabla N° 5).

INIA en su proyecto de 1987-1990 detectó plaguicidas en concentrados e ingredientes alimenticios para aves de corral y en grasa abdominal de gallinas de productores industriales de huevos de la RM. En el 33% de 36 muestras de concentrados alimenticios se encontró aldrín y dieldrín, en un promedio de 0,003 mg/kg. En 36 muestras de ingredientes alimenticios para aves, se encontró aldrín y dieldrín en un 42% en promedio de 0,003 ppm, en un 6% se detectó clordano en un promedio de 0,004 ppm, en un 3% se encontró DDE a nivel de 0,001 ppm y en 6% endrín en un promedio de 0,006 ppm. Las 45 muestras de grasa abdominal de gallinas mostraron en un 43% presencia de aldrín/dieldrín con un promedio de 0,091 ppm y en un 22% la presencia de DDE con un promedio de 0,032 ppm; estos promedios no sobrepasaron las respectivas normas nacionales de 0,1 ppm y 1,25 pm (INIA 1990)

En resumen, aceites comestibles y harinas no son alimentos de riesgo ya sea por la ausencia de residuos de POCs o porque las concentraciones son extremadamente bajas. Cuando se encontraron, aldrín y dieldrín fueron los más frecuentes. También en alimentos para aves de corral y en grasa de gallinas se encontró frecuentemente aldrín y dieldrín y dentro del valor del LMR.

### COPs en suelos

No es muy extensa la información sobre niveles de COPs en suelos, en especial en los de uso agrícola. No se encontró investigaciones representativas sobre POCs en suelos forestales, sólo hay unas escasas mediciones de dioxinas y furanos en ambientes de aserraderos, que se analizan más adelante. Un estudio investigó los niveles de PCBs en suelos vecinos a áreas industriales, mineras y de generación de energía.

Un primer estudio identificado se refiere a mediciones de POCs en suelos de 5 comunas del valle de Aconcagua hechas a principios de 1983 (INIA 1986, Ciudad et al. 1988). Se tomó 16 muestras de suelo a diferentes profundidades. Se identificó en ellas a cinco POCs; los más frecuentemente detectados, incluyendo los resultados traza, fueron DDT (100%), DDE (100%), dieldrín (75%) y aldrín, endrín y heptacloro con ocurrencias de 50%. Los promedios de las concentraciones variaron entre 0,004 ppm (heptacloro) y 0,086 ppm (dieldrín); DDT y DDE se presentaron en promedios de 0,036 y 0,035 ppm, respectivamente, lo que da una razón DDE/DDT cercana a uno. Fueron identificados indistintamente en las dos profundidades estudiadas. Los valores encontrados son más bajos en un orden de magnitud que las cifras informadas frecuentemente para suelos en los EUA.

Una segunda investigación prospectiva efectuada por INIA sobre plaguicidas en varias matrices ambientales, hecha entre Regiones IV y XI en 1987-1990 (INIA 1990), se agrega a los datos de la Región V recién presentados. Un resumen de la información sobre suelos de ambos estudios del INIA y los rangos de las concentraciones encontradas en las muestras positivas según regiones se muestran en la tabla siguiente. Los resultados de la Región V y los de las Regiones VI a XI deben compararse con cuidado, debido a que los primeros son del periodo anterior a la prohibición del DDT y los segundos son posteriores, de entre 3 a 4 años después.

**TABLA N° 19: OCURRENCIA DE COPs EN SUELOS Y RANGOS DE CONCENTRACIÓN ( $\mu\text{g/kg}$ ); REGIÓN V 1982-1984 Y REGIONES VI A XI, 1987-1989**

| Frecuencia y Plaguicida<br>(n) y % de ocurrencia | V<br>(16) 88 | VI<br>(12) 83* | VII<br>(7) 71* | VIII<br>(13) 69* | IX<br>(22) 46* | X<br>(30) 53* | XI<br>(11) 0 |
|--|--------------|----------------|----------------|------------------|----------------|---------------|--------------|
| Aldrín   | nd           | 0,5            | nd             | 0,5              | nd             | nd            | nd           |
| Clordano   | nd           | nd             | 0,5            | nd               | nd             | nd            | nd           |
| DDT  | 4 - 105      | nd             | nd             | nd               | nd             | 4             | nd           |
| DDE  | 3 - 105      | 0,5 - 6        | 0,5 - 2,4      | 0,5              | 0,5 - 2        | 0,5 - 15      | nd           |
| Dieldrín   | 3 - 247      | 0,5 - 50       | 0,5 - 11       | 0,5 - 4,4        | 0,5 - 4        | 16            | nd           |
| Endrín   | 3 - 32       | nd             | nd             | nd               | nd             | nd            | nd           |
| Heptacloro                                       | 3 - 5        | nd             | nd             | nd               | nd             | nd            | nd           |
| Heptacloro epóxido                               | nd           | nd             | nd             | 0,5 - 3,2        | nd             | nd            | nd           |

Fuente: INIA 1986, INIA 1990, González 1994.

Límite de detección: 0,5  $\mu\text{g/kg}$

nd: No detectado

\* Este valor incluye lindano, que no corresponde a los COPs bajo estudio.

Si bien son dos áreas geográficas diferentes y asumiendo que los dos estudios de INIA usaron técnicas analíticas comparables, es llamativa la reducción en la frecuencia de detección y en niveles de concentraciones de los POCs entre año 1983 y el periodo 1987-1989, o sea, antes y después de las restricciones y prohibiciones de varios de los POCs (DDT, aldrín, dieldrín, endrín, clordano y heptacloro).

En las muestras de suelo de la V Región se obtuvo un 88% de positividad a los COPs y en la VI fue del 83%, porcentajes altos que descienden a medida que se avanza hacia la XI Región, en donde la ocurrencia de los COPs de interés fue de cero.

También se observa una disminución desde la V a la XI del número de plaguicidas encontrados, cinco diferentes compuestos en la V, cuatro en la VIII, dos en la IX y en la X y ninguno en la XI.

Los plaguicidas más frecuentes en las muestras de la V Región fueron DDT (100%), DDE (100%), heptacloro (80%) y dieldrín (75%). Entre las Regiones VI y X, DDE y dieldrín estuvieron siempre presentes, ambos desde porcentajes mínimos hasta un 80% de frecuencia. Aldrín se detectó sólo en dos regiones. Clordano se identificó sólo en la VII, en un 20% de las muestras. DDT se encontró en la X pero sólo en una mínima presencia.

La situación a principios de la década de 1980 fue bastante extrema en suelos del valle de Aconcagua y de zonas costeras vecinas, en donde la ocurrencia de POCs es la más alta del conjunto; sin embargo, las concentraciones estuvieron en niveles relativamente bajos, con rango de promedios entre 0,004 y 0,086 ppm como ya se adelantó. El DDT y el DDE están presentes en el 100% de las muestras positivas, situación que estaría indicando intensa aplicación del DDT tanto en el pasado como por las fechas del estudio. Es la región con mayor multiplicidad de plaguicidas en las muestras (el 40% de las muestras tuvo 5 residuos diferentes) y en donde se identificó la mayor diversidad de compuestos, todo lo cual pudo estar reflejando intensa actividad agrícola en ese momento.

En cambio, las Regiones VI a XI en el periodo 1987-1989, post prohibición del DDT, muestran indicadores menos críticos. La ocurrencia baja marcadamente hacia el sur, la ocurrencia general en el conjunto de estas seis regiones fue de 59% (56 muestras positivas sobre un total de 95 muestras). Como máximo las muestras llegaron a contener 3 residuos diferentes, hecho que ocurrió con baja frecuencia. El DDT casi no se detectó y el DDE fue frecuente, indicando esto con alta probabilidad una contaminación residual, impresión ratificada por los autores.

Otro estudio hizo una búsqueda dirigida de PCBs en suelos vecinos a empresas que los usan o almacenan. Se efectuó en el año 2000 en 13 sitios en las regiones II, VII y VIII, los sitios de la región VII se consideran controles al estar ubicados en zonas rurales sin fuentes vecinas (CONAMA/EULA 2001). En 9 de los 13 sitios se encontró presencia de PCBs; las concentraciones más altas de PCBs en suelos (expresadas en ng/g peso seco) estuvieron en las zonas industriales y mineras, en un sitio de la II (141,6 ng/g) y en cuatro sitios de la VIII, vecinos a siderúrgica (326 ng/g), empresas mineras (396 y 539 ng/g) e industria papelera (190 ng/g). En los sitios alejados de áreas industriales y urbanas la concentraciones fueron bajas o no detectables. Para fines comparativos, los valores que se conocen para PCBs en suelos de áreas remotas fluctúan entre 18 y 63 ng/g peso seco.

En resumen, es evidente el impacto de las prohibiciones de COPs en la disminución de sus ocurrencias y concentraciones en suelos agrícolas. Los compuestos más frecuentemente encontrados fueron DDT, DDE y dieldrín. Se observó una clara gradiente descendente en la ocurrencia y en las concentraciones desde la zona central hacia las regiones del sur. Se detectó PCBs en altas concentraciones en suelos de áreas industriales.

### COPs en medios acuáticos

Los estudios en los ecosistemas acuáticos en Chile han explorado simultáneamente varios de sus componentes, identificando niveles de COPs en aguas, sedimentos, organismos acuáticos (peces y otros) y aves ictiófagas. La línea de investigación de bioindicadores se ha desarrollado de preferencia en el medio acuático.

Las mediciones de COPs en agua, especialmente de ríos, no han sido infrecuentes en Chile, aun cuando el agua no es el medio más adecuado como indicador del grado de contaminación del ecosistema al cual pertenece, debido a la muy baja hidrosolubilidad de estos compuestos y a la variabilidad de sus concentraciones en este medio. La contaminación del agua superficial es un fenómeno dinámico, discontinuo y variable en el tiempo, dependiendo de la frecuencia y magnitud de las descargas que la contaminan y de una serie de factores físicos y químicos del ambiente, todo lo cual genera patrones erráticos en la distribución de los COPs en este medio. Cuando se detecta presencia de COPs en aguas superficiales, ello está en general reflejando una incorporación reciente de estos compuestos al medio acuoso, por usos recientes en la vecindad, escorrentías o resuspensión desde sedimentos.

Existen algunos estudios de niveles de COPs en aguas superficiales en los ríos Aconcagua (INIA 1986, Ciudad et al. 1988, Báez et al. 1996), Cachapoal, Tinguiririca, Mataquito, Maule, Laja y Bio Bio (INIA 1990), Bio Bio (Parra et al. 1993) y Damas (EULA 1998, Rozas 2000).

Una primera evaluación de carácter exploratorio se hizo en 1980 en cuatro muestras de agua superficial de la Región VI (Ministerio de Salud 1982a). Dos de las muestras resultaron positivas a DDT y aldrín con concentraciones promedio de 0,0001 ppm (0,1 µg/L). A modo de referencia, la OMS recomienda en 1995 para agua potable un nivel de 2 µg/L para el DDT y de 0,03 µg/L para dieldrín.

En el verano de 1982 se tomaron muestras de agua en el río Aconcagua para determinar POCs (INIA 1986, Ciudad et al. 1988). Se procesaron 40 muestras procedentes de ocho puntos de muestreo. En 22 muestras (55%) no se detectó residuo de POCs, en las restantes se encontró sólo trazas de dieldrín en 15 muestras (38%), de endrín en 6 muestras (15%) y trazas de aldrín en 2 muestras (5%); se consideró valores traza los límites de 9, 15 y 29 ng/l para aldrín, dieldrín y endrín respectivamente. No se detectó DDT ni metabolitos en esta agua. El dieldrín resultó ubicuo, se le detectó en los ocho puntos de muestreo y en las cinco fechas de muestreo. Según lo informado por los autores, los niveles de concentración con POCs encontrados en esta ocasión estuvieron muy por debajo de los valores informados por otras investigaciones hechas en el extranjero.

Los investigadores del INIA concluyeron que el agua de los seis ríos evaluados entre 1987 y 1989 en las Regiones VI, VII y VIII no participan activa ni significativamente en la dispersión ambiental de los POCs estudiados (INIA 1990). Dieldrín fue único el plaguicida encontrado en el análisis de 49 muestras tomadas en estos ríos, con una ocurrencia general de 33% con mediciones definidas, de 10% con resultados traza y en el restante 57% de las muestras no fue detectado. Las concentraciones medidas si bien fueron bajas, con una modalidad de contaminación esporádica y con un promedio total de 14 µg/L (rango de 3-36 µg/L), estuvieron todas ellas por encima de la recomendación de OMS de 0,03 µg/L para agua potable. La ocurrencia del dieldrín presentó una gradiente descendente desde el Cachapoal (60%) hacia el Bio Bio (28%).

En enero 1991, se muestreó el agua en 21 estaciones en el río Bio Bio y afluentes. Sólo una estación mostró dos POCs, aldrín (0,0048 ppb versus 0,03 ppb de OMS) y heptacloro (0,071 ppb versus 0,03 ppb de OMS) (Parra et al. 1993).

Entre octubre de 1993 y julio de 1994, se desarrolló un estudio para medir una serie de plaguicidas en 24 muestras de agua del río Aconcagua y de sus afluentes (Báez et al. 1996). Entre los plaguicidas a evaluar se incluyó DDT y DDE. La detección de residuos de estos dos plaguicidas fue permanentemente negativa.

En 1994 la Dirección General de Aguas encargó un estudio para identificar la contaminación por plaguicidas en aguas superficiales y subterráneas; se efectuó en Regiones I, III, IV, V y Metropolitana y se buscó residuos de POCs, entre otros. En ninguna de las estaciones de muestreo se detectó presencia de estos plaguicidas por sobre los límites de detección analíticos (Referido por Barra et al. 1995a).

Un estudio realizado en 1998 por Centro EULA-Chile en aguas del río Damas y de algunos afluentes (Osorno, X Región), se detectó presencia de varios POCs. Aldrín se presentó en siete puntos de muestreo entre 0,21 y 1,13 ng/l; heptacloro en seis puntos varió entre 0,74 y 2,61 ng/l; pp`DDT en cinco muestras de diferentes puntos estuvo entre < 0,10 y 2,96 ng/l; pp`DDE, pp`DDD, dieldrín, endrín y endrín aldehído estuvieron en niveles traza de < 0,10 ng/L. Las concentraciones más altas se midieron en primavera y verano y las más bajas se encontraron en invierno; la gran diferencia entre pp`DDT y sus metabolitos está señalando un muy reciente ingreso del DDT al agua superficial (EULA 1998, información referida por Rozas 2000, pp 157-158).

En resumen, los POCs en aguas superficiales de ríos muestran una tendencia a presentarse en concentraciones bajas, con frecuencia en niveles traza, a menudo bajo el nivel máximo recomendado por la OMS para agua de bebida y con un descenso en el porcentaje de ocurrencia entre 1980 y 1994. Los compuestos más frecuentemente detectados fueron aldrín, dieldrín y DDT.

Otro de los medios acuáticos estudiados en Chile ha sido el ambiente marino costero, en función del impacto de la contaminación por descargas de origen antropogénico a través de las hoyas hidrográficas y mediante vertimientos directos desde las comunidades costeras. A mediados de la década de 1980 se hizo una indagación nacional acerca de la contaminación marina por fuentes terrestres (Bore et al. 1986), siendo plaguicidas uno de los temas destacados de dicho estudio. Se pudo identificar evaluaciones ya hechas y en desarrollo para determinar el impacto de los plaguicidas en el medio marino en las Regiones I y VIII. El resto de las regiones en general acusaron un desconocimiento del problema,

expresado por la ausencia de datos sobre plaguicidas en el medio marino. Las primeras investigaciones detectadas se refieren a niveles de plaguicidas en peces.

Una primera exploración identificada corresponde al estudio en 1978 de los contenidos de DDT y DDE en tejido graso de jurel (*Trachurus spp*), procedente de los puertos de la Región del Bio Bio (Wartemberg 1978). El jurel es de alta importancia industrial en la región ya que es destinado para alimentación humana y animal. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

**TABLA N° 20: CONCENTRACIÓN PROMEDIO (PPM, BASE GRASA) DE DDT Y DDE EN 35 MUESTRAS DE JUREL, CONCEPCIÓN, 1978**

| Plaguicida       | Promedio (ppm) | Rango (ppm)          |
|------------------|----------------|----------------------|
| pp` DDT          | 0,09           | 0,12-0,90 <i>sic</i> |
| pp` DDE          | 0,21           | 0,10-1,70            |
| pp` DDT+ pp` DDE | 0,31           | 0,10-2,60            |

De las 35 muestras, 18 (51%) resultaron positivas con los plaguicidas. Se detectó DDT en 11 muestras y DDE en 15 muestras. Los valores encontrados se ubican dentro de los rangos posibles de detectar en peces expuestos a contaminación marina difusa, no puntual; publicaciones de la época del estudio señalan que los peces contaminados contienen DDT y derivados entre 0,2 y 2 ppm, con promedio de 1 ppm (Jemelov 1974). El predominio del DDE concuerda con el antecedente de una vida media más larga de este metabolito y posiblemente también resultado de una exposición antigua al DDT. Los valores de DDT y DDE encontrados se encuentran por encima de los valores límite recomendados por FAO/OMS.

Un estudio sobre contenido de DDT en peces de agua dulce se hizo, posiblemente en 1986 (el documento no precisa fecha de realización), en Temuco, IX Región. Se midió DDT en 31 muestras de trucha salmonídea, tomadas en primavera y otoño (López 1987). La elección de determinar DDT se fundamentó en el antecedente dado por el autor acerca de que “el DDT se utiliza con profusión en praderas de la IX Región”. Los niveles de DDT y DDE en el tejido adiposo de los peces se presenta en la tabla siguiente.



**TABLA Nº 21: CONCENTRACIONES (mg/kg) DE DDT Y DDE EN MUESTRAS DE GRASA DE PECES PROCEDENTES DE PISCICULTURA DE CIUDAD DE LAUTARO, ¿1986?**

| Estación | Nº de muestras | p p` DDT<br>Promedio y margen (ppm) | pp`DDE<br>Promedio y margen (ppm) |
|----------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Verano   | 12             | 0,390 (0,05-1,33)                   | 0,740 (0,20-3,92)                 |
| Invierno | 19             | 0,23 (0,04-1,00)                    | 0,32 (0,01-1,33)                  |

Por el predominio de DDE, se concluye que la contaminación es antigua, pero los altos niveles de DDT señalan que concomitantemente este plaguicida habría estado usándose al momento del estudio. La diferencia entre estaciones podría explicarse por variaciones estacionales en el contenido de tejido graso de los peces. Los niveles de DDT y DDE en estos peces de agua dulce están por encima de los valores límite recomendados por FAO/OMS.

En el contexto de un “programa de vigilancia de contaminantes en áreas costeras del Pacífico Sudeste” (CPPS/PNUMA 1984), se hizo una extensa evaluación en la VIII Región entre 1985 y 1988, para determinar niveles de COPs en el medio marino de la costa más intensamente afectada por la contaminación, la Bahía de Concepción, la Bahía de San Vicente y el Golfo de Arauco frente a la desembocadura del río Bio Bio. Los estudios se efectuaron entre 1985 (Bahía de Concepción) y 1988 (Bahía de San Vicente y Golfo de Arauco), se analizaron muestras de agua de mar, sedimentos marinos y organismos marinos (Chuecas et al. 1987 y 1989, Gutiérrez 1989). A continuación se presentan los resultados en los tres medios mencionados, que se comparan con un estudio previo hecho en las mismas zonas a fines de la década de 1970 e informado por SERPLAC regional en 1980.

**TABLA N° 22: NIVELES DE PLAGUICIDAS (PPB) EN MEDIO MARINO, VIII REGIÓN; ESTUDIOS DE 1980, 1985, 1986 Y 1988**

| Medio Marino |  | Plaguicida | SERPLAC 1980<br>(rango) | 1985<br>(valor máximo) | 1986<br>(valor máximo) | 1988<br>(valor máximo) |
|--------------|--|------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Agua         |  | DDT        | 0,50-1,00               | 0,090                  | 0,250                  | 0,007                  |
|              |  | DDE        | 0,15-0,50               | 0,015                  | 0,075                  | 0,003                  |
|              |  | Aldrín     | -                       | nd                     | 0,163                  | 0,013                  |
| Sedimento    |  | DDT        | 3,20-4,50               | 0,210                  | 0,680                  | 0,035                  |
|              |  | DDE        | 0,50-1,10               | 2,120                  | 0,171                  | 0,195                  |
|              |  | Aldrín     | -                       | 0,374                  | 0,278                  | 0,169                  |
| Organismo    | <i>Aulacomya</i><br><i>ater</i><br>(cholga)          | DDT        | ? -14,300               | 11,600                 | 1,850                  | 0,018                  |
|              |  | DDE        | ? -5,100                | 6,960                  | 6,860                  | 0,022                  |
|              |  | Aldrín     | -                       | 0,140                  | 0,108                  | 0,009                  |
|              | <i>Perumytilus</i><br><i>purpuratus</i><br>(chorito) | DDT        | -                       | 1,800                  | 3,870                  | 0,012                  |
|              |  | DDE        | -                       | 3,390                  | 3,210                  | 0,017                  |
|              |  | Aldrín     | -                       | 0,088                  | 0,102                  | 0,009                  |

Fuente: Chuecas et al. 1989

Se presentan los valores máximos de plaguicidas encontrados en las estaciones de monitoreo, dado que los autores señalan que los plaguicidas investigados no muestran patrones definidos en los tres medios estudiados y que algunos de ellos no fueron detectados en un número significativo de estaciones. Se observa una tendencia al descenso en todas las concentraciones entre lo informado en 1980 y lo medido en 1988, un descenso importante en aproximadamente 10 años, tendencia que sería producto de las resoluciones legales que prohibieron el uso del DDT a partir de enero de 1985 y restringieron el aldrín en 1986. Aún así, los valores encontrados en 1988 sobrepasan los límites recomendados por EPA para los componentes del medio marino; EPA recomienda para DDT y DDE en agua marina un valor de 0,001 ppb y para aldrín de 0,003 ppb (EPA 1976). Como es de esperar en sedimentos y en organismos, los niveles de DDE tienden a ser más altos que los de DDT. Las concentraciones encontradas en los años 1985 y 1986 fueron calificadas por la CPPS como graves en aguas y como moderadas para sedimentos (Gutiérrez 1989).

Se estudió en 1996 el contenido de POCs y PCBs en 29 muestras de tejidos graso de jurel (*Trachurus murphyi*) procedente del mar de las Regiones VII y VIII (Fuentealba 1997). Se encontró un amplio margen de diversos COPs, incluyendo 14 POCs y 8 PCBs. Entre los POCs que interesan para esta revisión se encuentran heptacloro y metabolito, DDT y metabolitos, endrín y metabolitos y diendrín. Entre los PCBs se encontraron congéneres de los grupos penta-, hexa- y hepta-clorobifenilos. Las concentraciones de los COPs identificados se presentan en las siguientes tablas.

**TABLA Nº 23: CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS ORGANOCLORADOS (POCs) EN JUREL (*Trachurus murphyi*), (ng/g, BASE LIPÍDICA), REGIÓN VIII, 1996**

| Plaguicida         | Promedio | Rango        | Frecuencia de detección (%) |
|--------------------|----------|--------------|-----------------------------|
| pp`DDT             | 2,051    | 0,396-5,379  | 83                          |
| pp`DDD             | 0,635    | 0,635-0,635  | 3                           |
| pp`DDE+dieldrín    | 5,315    | 0,561-12,433 | 100                         |
| Heptacloro         | 1,122    | 0,202-1,900  | 21                          |
| Heptacloro epóxido | 0,650    | 0,403-0,807  | 14                          |
| Endrín             | 0,822    | 0,709-0,886  | 10                          |
| Endrín aldehído    | 3,106    | 0,120-10,109 | 66                          |
| Endrín cetona      | 0,324    | 0,076-0,737  | 14                          |

**TABLA Nº 24: CONCENTRACIÓN DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCBs) EN JUREL (*Trachurus murphyi*), (ng/g, BASE LIPÍDICA), REGIÓN VIII, 1996**

| Congénere           | IUPAC Nº | Promedio | Rango        | Frecuencia de detección (%) |
|---------------------|----------|----------|--------------|-----------------------------|
| Pentaclorobifenilos | 95       | 4,666    | 0,917-13,276 | 93                          |
|                     | 101      | 3,018    | 0,964-6,468  | 69                          |
|                     | 110      | 3,605    | 0,676-12,585 | 90                          |
| Hexaclorobifenilos  | 135      | 0,084    | 0,084-0,084  | 3                           |
|                     | 153      | 2,303    | 0,227-7,473  | 62                          |
|                     | 138      | 1,314    | 0,867-2,174  | 21                          |
|                     | 128      | 2,454    | 2,454-2,454  | 3                           |
| Heptaclorobifenilos | 185      | 4,903    | 0,227-6,776  | 14                          |

Los PCBs alcanzan concentraciones más altas en estos peces que los POCs. Los plaguicidas más frecuentemente detectados fueron pp'DDE+dieldrín y pp'DDT. De los PCBs, el grupo penta- representa el 63% de las concentraciones máximas; los congéneres 95, 101, 110 y 153 son los más recurrentes en las muestras, el congénere 95 muestra la mayor concentración. La autora señala que los niveles encontrados en este estudio están dentro de los rangos identificados por otros estudios en peces en otras partes del mundo. El jurel evaluado en la misma región en 1978 por Wartemberg mostró un promedio de pp'DDT de 90 ppb y un rango entre 120-900 ppb (Tabla N° 20), valores éstos 44 veces más altos que los encontrados por Fuen-tealba en 1996. Esto es un indicador de la magnitud del descenso en la contaminación con DDT en el medio marino en 18 años.

En 2002 se hizo un extenso estudio internacional para medir el contenido de COPs en salmón; se estudiaron comparativamente ~750 muestras de salmón de criaderos y de medio natural, procedentes de diversos productores de Europa y América y de locales de venta al público en Europa, Estados Unidos y Canadá. De productores de la zona sur de Chile se obtuvieron 30 muestras. También se midió el contenido de COPs en 13 muestras de alimento para salmones provenientes de distintos proveedores de Europa y Chile (Hites et al. 2004).

El salmón con los más altos niveles de contaminación en este estudio es el de procedencia europea. El salmón de Chile resultó ser el de menor nivel de contaminación de entre los salmones de criaderos; sin embargo, tuvo niveles significativamente más altos de PCBs, dioxinas y dieldrín que el salmón salvaje. Las concentraciones en las muestras de salmón de Chile fueron de aproximadamente los siguientes valores para los COPs que se señalan: PCBs 19 ng/g, dioxinas 0,9 pg TEQ/g, dieldrín 1 ng/g y toxafeno 17 ng/g.

Una evidencia sobre la diferencia de niveles entre el salmón europeo y el chileno provino de tres muestras adquiridas en un establecimiento comercial de Washington DC, EUA, en que la muestra procedente de Islandia tuvo 4,63 ng/g de dieldrín y las dos muestras chilenas arrojaron 0,61 y 0,46 ng/g de dieldrín; la muestra de Islandia resultó 8,7 veces más alta en dieldrín que la concentración promedio de las dos muestras chilenas ( $4,63/0,53 = 8,7$ ).

Las diferencias entre salmón de criadero y salmón salvaje pueden atribuirse al alimento de los primeros. Se analizaron trece muestras de alimento comercial usado para salmón; los alimentos adquiridos en Europa tuvieron niveles de COPs significativamente más altos que

aquéllos adquiridos en Norte y Sud América. Los valores obtenidos para las muestras de alimentos de Chile variaron en los siguientes rangos para el COP que se especifica: PCBs 15-60 ng/g, dioxinas 0,9-3 pg TEQ/g, dieldrín 0,8-6,5 ng/g y toxafeno 20-80 ng/g.

Sorprende la presencia en el año 2002, tanto en los salmones como en los alimentos, de dieldrín (prohibido en Chile en 1987) y de toxafeno (un plaguicida aparentemente poco usado en Chile, pero prohibido en su uso sólo en 1998). No queda claro si el alimento de Chile es de procedencia nacional o importado, aun cuando los autores se limitan a señalar que el alimento de Chile es procesado a partir de pescados de aguas sudamericanas.

Se ha desarrollado desde hace no muchos años en Chile una progresiva exploración de la contaminación en organismos vivos de ecosistemas acuáticos, con el propósito de identificar y consolidar biomarcadores que contribuyan de un modo más simplificado a la vigilancia ambiental de los COPs y a la estimación de riesgos para el ambiente y la salud humana. Los estudios que evalúan la contaminación en organismos vivos para fines de identificar biomarcadores son numerosos (Skewes 1978, Focardi et al. 1993, Sericano et al. 1995, Focardi et al. 1996, Sánchez-Hernández et al. 1998, Muñoz et al. 1999, Focardi et al. 2000, Gavilán et al. 2001, Barra et al. 2002, Muñoz et al. 2003). Estos estudios han sido útiles también porque han aportado información acerca de los contenidos de COPs en organismos que, además de servir como bioindicador, son alimento humano, como algunas especies de peces.

En 1978 se determinó DDT y metabolitos en tejido graso de una especie de ave marina de la Bahía de Concepción, el cormorán (Skewes 1978). En el 73% de las muestras se encontró DDT en nivel promedio de 0,42 ppm (rango 0,004-2,3) y DDE en promedio de 1,99 ppm (rango 0,03-10,3), el DDT total fue de 2,41 ppm; la proporción del DDE dentro del DDT total es del 82% y la razón DDE/DDT es 4,7. Estudios en otras partes del mundo habían encontrado niveles de DDT y DDE mayores que estas mediciones, pero la proporción del 82% del DDE sobre el total se ha informado con valores similares por otros autores; los niveles que han producido daño reproductivo en aves ictiófagas también han resultado más altos en otras investigaciones que los valores de este estudio. El autor concluye que el nivel de contaminación encontrado en las aves de Concepción es bajo.

Entre 1991 y 1992 Chile participó en un programa internacional de monitoreo ambiental para detectar niveles de COPs en organismos marinos del tipo bivalvos (Sericano et al. 1995). Se seleccionó siete

lugares de muestreo: Arica, Antofagasta, La Serena, Valparaíso, Concepción, Puerto Montt y Punta Arenas. La concentración de DDT más alta estuvo en Valparaíso (140 ng/g), en el margen de 10-100 ng/g estuvieron Antofagasta y Punta Arenas y por bajo 10 ng/g estuvo el resto de los puntos de muestreo. La concentración de PCBs más alta estuvo en Punta Arenas (170 ng/g), en el margen de 10-100 ng/g estuvieron Arica, Concepción y Puerto Montt y por bajo los 10 ng/g estuvo el resto de los tres puntos de muestreo; cabe adelantar que el valor de Punta Arenas es coincidente con los hallazgos informados en año 2002 para la Región XII (Barra et al. 2002). Los siete puntos de muestreo tuvieron niveles de clordano menores a 10 ng/g, situación que fue generalizada en los muestreos de Centro y Sud América. Los investigadores efectuaron la sumatoria de resultados de todos los compuestos estudiados en los 127 puntos de muestreo en las Américas y las ordenaron por cuartiles; los siete lugares de Chile estuvieron en el cuartil inferior, dentro del 25% que mostró los menores niveles de contaminación total por los tres COPs medidos. Además, ninguno de los valores de Chile superó límites normativos de alerta internacionales.

En 1992 y como parte de una pesquisa mayor, se midió los niveles de COPs en tejidos grasos de varias especies de peces y aves en varios puntos del trayecto del río Bio Bio (Focardi et al. 1993). Se encontró niveles altos de DDT total, HCB y PCBs (20 congéneres). A mitad del curso del río los máximos niveles de DDT total en peces (expresados en mg/kg de lípidos) fue de 0,75 y de PCBs 0,70; en la desembocadura del río DDT alcanzó 3,2 y PCBs llegó a 5,8. En aves a mitad del curso del río los valores fueron: DDT total 1,0 y PCBs 1,3; en la desembocadura del río fueron: DDT 1,9 y PCBs 8 mg/kg de lípidos. Los niveles de HCB fueron muy bajos en peces pero altos en las aves, también presentando una gradiente ascendente entre mitad del río y su desembocadura, 75 y 275 mg/kg de lípidos, respectivamente. Las cifras confirman un proceso de magnificación entre peces y aves y una influencia de la contaminación urbano industrial con PCBs en la desembocadura.

A mediados de la década de 1990, se efectuó en el río Bio Bio un nuevo estudio de la biota local, analizándose los contenidos de DDT y metabolitos, HCB y PCBs en peces y aves ictiófagas (Focardi et al. 1996). Se tomó muestras de músculo e hígado de 74 peces de cinco especies diferentes y de 24 aves de cuatro especies diferentes, procedentes de cinco lugares entre el nacimiento y la desembocadura del río. Las concentraciones de DDT total en peces y en aves presentaron niveles relativamente homogéneos en los cinco lugares, siendo a menudo mayores en las aves, del orden de 1,4 a 2,6 veces. Las concentraciones mínimas en peces fluctuaron (en ng/g) entre

230 al inicio, 479 en la mitad del trayecto y 364 en la desembocadura, las máximas fueron respectivamente 761, 1.340 y 1.429 ng/g. En las aves las concentraciones máximas fueron para los mismos puntos de 1.863, 2.350 y 1.960 ng/g. Entre el 50 y 80% del DDT total correspondió a DDE, el componente más abundante de esta familia. Los PCBs presentaron un patrón de ocurrencia más definido, concentraciones en peces variaron entre extremos de 86 y 2.012 ng/g y concentraciones en aves con extremos de 250 y 5.000 ng/g. En el inicio del río las concentraciones de PCBs fueron entre 7 y 8 veces más altas en aves que en peces. Se observa un alza importante de PCBs en la desembocadura tanto en peces como en aves, posiblemente por la influencia del medio urbano-industrial; los dos valores máximos recién señalados corresponden a este lugar. Los PCBs detectados estuvieron entre tetra- y octa-clorobifenilos; hay predominio de los congéneres con mayor contenido de cloro en aves que en peces; los compuestos específicos más frecuentes fueron 95, 118, 138, 153 y 180. El HCB se presentó en niveles menores; en peces varió de 3 a 340 ng/g y en aves de 16 a 152 ng/g, en ambos las concentraciones se mantuvieron bajas en los cuatro primeros lugares de muestreo y en ambos los valores máximos mencionados se detectaron en la desembocadura. El análisis de la composición del total de COPs en peces y aves, junto con conocer sus hábitos migratorios, permiten inferir el transporte y migración de los COPs en el ambiente. Esto fue muy descriptivo con los diferentes congéneres de PCBs.

En 1994 y 1995 se midió el contenido de COPs en huevos de gaviotas a modo de bioindicador de la calidad de los ecosistemas marinos en cuanto a tipo y grado de contaminación; se tomó 55 muestras en las costas de las Regiones V, VIII, X y XII (Muñoz et al. 1999). Los promedios (en ng/g de peso fresco) de DDT estuvieron entre 0,6 y 6,8, los de DDE entre 24 y 192 y los de HCB entre 4 y 10; hay un franco predominio del DDE, con valores bastante altos de la razón DDE/DDT, entre 18 y 67. El DDT total (ng/g) varió de modo descendente en la siguiente secuencia por regiones y localidades: 203 (V) > 151 (Valdivia) > 43 (VIII) > 30 (Chiloé) > 25 (XII); las mayores concentraciones están en áreas con actividad agrícola importante. La variación geográfica del HCB no mostró un patrón definido, los valores más altos estuvieron en las Regiones VIII y XII, los más bajos en la X. Los PCBs totales estuvieron en la siguiente secuencia de concentraciones en ng/g peso fresco según regiones y localidades: 245 (V) > 216 (VIII) > 150 (Valdivia) > 143 (XII) > 106 (Chiloé), ubicándose las mayores concentraciones de PCBs en las regiones más industrializadas, reflejando su mayor uso y ocurrencia en estas partes. Los bajos valores de DDT total y de PCBs en Chiloé y Región XII, reflejarían el menor nivel de actividades agrícolas e industriales en estos sectores.

En el año 2000 se investigó el contenido de PCBs en organismos del medio marino costero con el fin de identificar su patrón de distribución latitudinal, haciendo uso del monitoreo biológico en una especie de bivalvo ampliamente distribuida en las costas chilenas (Barra et al. 2002). Se muestreó 13 sitios costeros en las Regiones II, V, VII, VIII y XII, en cada sitio se tomó entre 30-40 muestras de *perumytilus purpuratus* (chorito). Los trece sitios mostraron presencia de PCBs en los bivalvos, pero en diferentes magnitudes. Las concentraciones más bajas estuvieron en las regiones VII (19-106 ng/g) y VIII (140-142 ng/g) y los valores más altos en la V (309-650 ng/g) y en la XII (736-1.679 ng/g). Los resultados muestran una gran difusión de los PCBs en el litoral del país pero con diferente composición de congéneres según el sitio. Se insinúa una gradiente ascendente de concentraciones hacia el sur, lo que coincide con los hallazgos del Mussel Watch Program (Sericano et al. 1995). Los valores son altos pero están dentro del contexto mundial de contaminación con PCBs, las concentraciones de Chile en este estudio se encuentran en el rango de bajo nivel de contaminación.

Finalmente, se han efectuado varias exploraciones del nivel de contaminación con COPs de sedimentos lacustres, fluviales y marinos. Los resultados reflejan la magnitud y el tipo de contaminación del medio acuático y orientan acerca de lo que ocurre con uno de los componentes ambientales que participa en las cadenas tróficas acuáticas. Las investigaciones se han hecho especialmente en el sur de país (Sánchez-Hernández et al. 1998, Palma-Fleming et al. 1998b y 2000, Barra et al. 2001a, 2001b, 2004a y 2004b, Bonert 2002).

En 1994 y 1995, se estudió el contenido de POCs en los sedimentos del estuario del río Valdivia, Región X (Palma-Fleming 1998b). Se buscó y se encontró una amplia gama de plaguicidas y sus metabolitos. Los promedios y los rangos encontrados, expresados en ng/g de peso seco y con un nivel de detección de 0,02 ng/g, así como la frecuencia de detección (%), son los siguientes:

|                                    |                  |           |
|------------------------------------|------------------|-----------|
| endrín+metabolitos                 | 0,48 (0,03-1,40) | (14-25%); |
| DDT+metabolitos                    | 0,38 (0,06-1,25) | (32-43%); |
| aldrín+diendrín                    | 0,75 (0,08-3,51) | (25-46%); |
| heptacloro                         | 0,46 (0,19-1,41) | (61%);    |
| clordano <i>alfa</i> y <i>gama</i> | 0,31 (0,07-0,89) | (18-21%). |

Estas concentraciones ocurren entre 7 y 11 años después de las prohibiciones de estos compuestos. Se infiere que la contaminación con DDT y metabolitos procede de varias fuentes difusas antiguas, aun cuando la razón DDE/DDT resultó 0,93. Los autores comparan estas cifras con varias otras publicadas en diversos países y concluyen que los niveles de plaguicidas en los sedimentos del río Valdivia son en general relativamente bajos y con una distribución témporo-espacial uniforme.

Como uno de los componentes del estudio del impacto de la contaminación generada por el vertedero municipal de Morrompulli en la ciudad de Valdivia, se midió en 1996 los niveles de POCs en sedimentos de tres ríos, Futa, Calle-Calle y Valdivia (Palma-Fleming et al 2000). Los promedios de plaguicidas para el conjunto de los tres ríos, expresados en ng/g de peso seco y con un nivel de detección de 0,2 ng/g, son los siguientes:

|                      |      |
|----------------------|------|
| DDT                  | 0,23 |
| DDE                  | 0,40 |
| DDD                  | 0,60 |
| Aldrín               | 0,67 |
| Diendrín             | 1,04 |
| Endrín               | 0,40 |
| Endrín aldehído      | 1,0  |
| Endrín cetona        | 0,48 |
| <i>alfa</i> clordano | 5,7  |
| <i>gama</i> clordano | 0,43 |
| Heptacloro           | 0,81 |

Los valores del río Valdivia tendieron a ser algo mayores que en los otros dos ríos que lo preceden. Se considera que en general los valores encontrados en sedimentos están en niveles bajos y son coincidentes con los valores del estudio algo similar del año anterior. Destacan las frecuentes mayores concentraciones de los metabolitos. La razón DDE/DDT es de 1,7.

En fiordos de las Regiones X, XI y XII, entre 1995 y 1997 se buscó presencia de varios POCs en sedimentos marinos (Bonert 2002). Sólo se detectó DDT y metabolitos en 10 de 14 muestras (71%). Otros

plaguicidas y PCBs incluidos en la pesquisa no fueron detectados en un nivel de detección analítica de 0,1 ng/g. DDT y metabolitos presentaron un patrón de concentraciones homogéneo, con valor promedio de 0,39 ng/g y rango de 0,20-0,80 ng/g. Hubo alto grado de dispersión del DDT y metabolitos en el ambiente de zonas que no han recibido intensas actividades agropecuarias ni forestales, con presencia prácticamente desde la primera estación de muestreo (Seno de Reloncaví, X) hasta la última (Bahía Inútil, XII). La razón DDE/DDT resultó en este caso es 1,42. Llama la atención que el estudio de Bonert y el primero de Palma-Fleming hayan coincidido con valores muy similares de DDT total (0,39 y 0,38 ng/g), considerando el desfase en el tiempo y la distancia que separó ambos estudios.

En 1996-1997 se midió POCs en sedimentos de cuatro lagos de la Región VIII (Barra et al. 2001a y 2001b). Dos lagos se catalogan como “lagos urbanos”, o sea, con influencia de la contaminación urbano-industrial vecina, los otros dos lagos se catalogan como “lagos prístinos”, alejados de fuentes evidentes de contaminación, salvo la que les pueda llegar por el transporte aéreo de los COPs desde larga distancia. Los resultados del estudio de laguna Chica de San Pedro, muy vecina a Concepción-Talcahuano y áreas con intensa actividad humana, son especialmente interesantes de destacar por la metodología de determinación cronológica retrospectiva usada para identificar las tendencias históricas de las concentraciones de plaguicidas. La tabla siguiente muestra las concentraciones de plaguicidas depositados en el sedimento entre los años 1942 y 1996 según secciones cronológicas establecidas para la columna de sedimento mediante uso de técnicas con  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y análisis de polen.

**TABLA Nº 25: CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS (ng/g PESO SECO) EN COLUMNA DE SEDIMENTO DE LAGUNA CHICA DE SAN PEDRO, REGIÓN VIII, SEGÚN AÑOS ATRIBUIBLES A CADA SECCIÓN**

| Fecha del estrato sedimentario (cm) | pp´ DDE | pp´ DDD | pp´ DDT | Heptacloro | Aldrín | Endrín |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|------------|--------|--------|
| 1993-1996 (0-1)                     | 0,43    | 0,08    | 0,89    | 0,30       | 0,03   | nd     |
| 1989-1993 (1-2)                     | 0,41    | 0,23    | nd      | 0,01       | nd     | nd     |
| 1984-1989 (2-3)                     | 0,56    | 0,29    | nd      | nd         | nd     | nd     |
| 1978-1984 (3-4)                     | 1,03    | 0,77    | 0,23    | nd         | nd     | nd     |
| 1972-1978 (4-5)                     | 1,68    | 1,56    | 0,32    | 0,01       | nd     | 0,36   |
| 1968-1972 (5-6)                     | nd      | 0,15    | nd      | 0,85       | 0,85   | 1,99   |
| 1961-1968 (6-7)                     | nd      | nd      | nd      | nd         | nd     | 0,14   |
| 1951-1961 (7-8)                     | 1,03    | 0,62    | nd      | nd         | nd     | nd     |
| 1948-1951 (8-9)                     | nd      | nd      | nd      | 0,20       | 0,06   | nd     |
| 1942-1948 (9-10)                    | nd      | nd      | nd      | nd         | nd     | nd     |

Adaptada a partir de Tabla 1 en Barra et al 2001a  
 nd= no detectable, valores bajo 0,001 ng/g

Los autores concluyen que el perfil de concentraciones encontrado en este lago urbano está más cercano al de lagos de zonas prístinas del hemisferio norte que al de lagos urbanos de esas latitudes. Las concentraciones se pueden catalogar como bajas, en el orden de los ppt, picogramos por gramo de sedimento seco. Aún así, la tabla refleja el uso histórico de los plaguicidas a nivel local. Este cronograma para una zona precisa de la región VIII, posiblemente también refleje la situación de una zona vecina más extensa. El primer indicio de plaguicidas se ve en el periodo 1948-1951 con los residuos de heptacloro y aldrín, que luego alcanzan sus valores más altos entre 1968 y 1978. Entre 1951 y 1961 aparecen los metabolitos del DDT; sin embargo, en el periodo 1972-1984 se presentan los más altos niveles de DDE y DDD, años en que se habrían producido los grandes aportes de DDT al ambiente en esta zona. Las tasas de depósito más altas calculadas de DDT ocurren en la década de 1970. El sostenido descenso de estos metabolitos a partir de 1984 reflejaría la prohibición del DDT, aun cuando el alto valor de DDT en 1993-96 estaría denunciando una contaminación reciente con este plaguicida. Aparentemente no existen evaluaciones similares hechas en otras partes del territorio nacional.

En contraste, la detección de plaguicidas en la laguna Icalma, en la alta cordillera de la Región VIII, fue menos frecuente y en concentraciones menores; se los detectó en nueve ocasiones restringidas a metabolitos del DDT (entre 0,05 y 0,47 ng/g) y aldrín (0,22 y 0,52 ng/g).

En cuanto a determinación de PCBs en sedimentos, hay tres estudios identificados que se han efectuado en las Regiones I, VIII y IX.

Una exploración hecha en 1999 en un sitio remoto (lago Chungara, 4520 msnm, Región I) igualmente estableció concentraciones de PCBs en sedimentos según fechas usando  $^{210}\text{Pb}$  (Barra et al. 2004b). Se analizó una columna de 10 cm que representa el depósito en el transcurso de aproximadamente 100 años. Los depósitos de PCBs se detectan a partir de 1930. Las concentraciones mayores de PCBs estuvieron en los últimos 40 años y con tendencias crecientes a medida que se avanza hacia años recientes. Las concentraciones en ng/g subieron de 0,15 (año 1947) a 2,43 (año 1987). Estas cifras están catalogadas como bajas y similares a lo que se encuentra a nivel mundial en áreas remotas (nd -100 ng/g peso seco). Las tasas de depósito de PCBs también ascienden desde 1930 de valores de ~ 550 ng/m<sup>2</sup>/año hasta la mayor tasa medida en el periodo 1987-1990, de 1.360 ng/m<sup>2</sup>/año. El patrón de congéneres predominantes en los estratos antiguos corresponde a penta- y heptaclorados y en los estratos más recientes a tetra- y hexaclorados. Los autores conside-

ran los flujos de PCBs encontrados como medianos-bajos al comparar con los de lagos de climas templados del hemisferio norte, que varían entre 110 y 4.250 ng/m<sup>2</sup>/año; además, los mayores depósitos en el hemisferio norte ocurrieron en la década de 1970. También consideran que la procedencia de los PCBs del lago Chungara puede ser el depósito atmosférico desde largas distancias como de algunas actividades humanas vecinas en el altiplano. Esta investigación ha servido para demostrar la extensa distribución que tienen los PCBs en Chile, los bajos niveles de contaminación alcanzados en zonas remotas y señalar que el proceso de contaminación ambiental con PCBs ha sido durante 70 años continuo y en ascenso hasta la actualidad, hecho que se repite en el estudio que se resume a continuación.

Otro estudio de PCBs depositados en sedimentos se efectuó en el año 2001 en la desembocadura del río Imperial, en la Región IX. En una marisma local mediante cronología estratigráfica usando  $^{137}\text{Cs}$  se determinó las tasas de sedimentación de PCBs entre 1960 y 2002 (Barra et al. 2004a). Los sedimentos registran las tendencias históricas de la contaminación del ecosistema con PCBs que proceden tanto del aire como de suelos contaminados. Las concentraciones de PCBs fueron bajas, con un valor máximo medido de la  $\Sigma\text{PCBs}$  de 32 ng/g peso seco, valor menor que concentraciones encontradas, por ejemplo, en el Río de la Plata (Argentina) y en ríos del hemisferio norte. La tasa de depósito muestra claramente el incremento progresivo de la contaminación local con PCBs. La  $\Sigma\text{PCBs}$  expresada en ng/m<sup>2</sup>/año creció notoriamente a partir de 1985; el promedio del depósito entre 1962 y 1963 fue de 0,4 para subir a 10 entre 1985 y 1990, este promedio fue de 42 entre 1990 y 1998 y de 102,6 entre 1998 y 2001. Los congéneres encontrados son del tipo más persistente e importantes componentes de las mezclas comerciales de PCBs (138, 153, 170 y 180); las más altas concentraciones de estos congéneres se encontraron en el periodo 1998-2001. Los autores estiman que los aportes procederían del incremento de la actividad industrial de la Región IX, en especial de Temuco, la persistencia en el uso de materiales y equipos eléctricos que contienen PCBs, de descargas industriales a los ríos de la cuenca del río Imperial y del depósito atmosférico asociado con los niveles de PCBs en aire encontrados en Temuco, con valores máximos de 1,79 ng/m<sup>3</sup> (Mandalakis et al. 2002).

Por último, en un estudio efectuado en 1997 para evaluar la inducción enzimática en peces por exposición a compuestos orgánicos presentes en sedimentos del río Bio Bio (Sánchez-Hernández et al. 1998), se encontró en sedimentos una concentración de PCBs de 2,93 ng/g, magnitud que según los autores no sería suficiente para causar cambios bioquímicos significativos en los peces.



## COPs en aire

El aire es el medio menos estudiado en Chile respecto a la presencia de COPs. La revisión de los estudios de la calidad del aire urbano relacionados con contaminantes criterio como hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros, no mencionan ni se refieren a los COPs. Sólo se encontró dos estudios que tratan de COPs, específicamente para PCBs. Además, no se encontró estudios que evalúen los niveles de POCs en aire de ambientes de trabajo, en particular en donde más interesa, predios agrícolas y forestales y zonas aledañas habitadas.

El primero de los estudios se hizo en 1998; midió PCBs en partículas finas, de  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ), en aire de Santiago y Temuco (Mandalakis et al. 2002). Se tomó 19 muestras de aerosol de ~24 horas, fraccionadas en tres instancias témporo-espaciales: 9 en Santiago, agosto; 6 en Temuco, septiembre y 4 en Santiago, octubre. Se detectó un total de 47 congéneres de PCBs en el aire comunitario. Los rangos de las concentraciones del total de PCBs en Santiago variaron entre  $1,16$  y  $2,75 \text{ ng/m}^3$  y en Temuco entre  $0,67$  y  $1,79 \text{ ng/m}^3$ , siendo los valores máximos considerados como moderadamente más altos que los observados en otras áreas urbanas del mundo.

Un objetivo especial de este estudio fue detectar la magnitud de las pérdidas por volatilización de PCBs desde las partículas finas durante el muestreo al usar equipos convencionales de alto volumen. El promedio de las pérdidas varió entre 54 y 97%, influidas fuertemente por la presión parcial de cada congénere y por la temperatura, concluyéndose que las mediciones con muestras convencionales de PCBs en material particulado del aire pueden resultar significativamente subestimadas. Los resultados llevan a concluir que usar cifras obtenidas por métodos convencionales de muestreo para calcular el riesgo para la salud asociado con la inhalación de PCBs en aire urbano, llevaría a estimaciones de riesgo bastante más bajas que las reales.

El segundo estudio de PCBs en aire, hizo mediciones en aire urbano de la ciudad de Santiago en el año 2001, demostrando la presencia de PCBs (CENMA 2001). Se tomó 25 muestras en tres sectores: La Reina, Parque O'Higgins y Los Cerrillos. Los promedios por sector fueron  $1,44$ , de  $1,06$  y  $0,63 \text{ ng/m}^3$  respectivamente, un claro descenso que concuerda con un patrón geográfico definido. El rango de niveles encontrados varió entre  $0,54$  y  $1,93 \text{ ng/m}^3$  con un promedio general para el conjunto de los tres sectores de muestreo del orden de  $1,1 \text{ ng/m}^3$ . Respecto a congéneres identificados, las mayores ocurrencias fueron de di-, tri-, tetra-, penta- y hepta-clorobifenilos, en proporciones diferentes según los sectores.

Para fines de comparación internacional, los autores comparan con resultados de otras ciudades los valores más altos medidos, los de La Reina, tanto el promedio de  $1,44$  como el margen de concentraciones de  $1,08$ - $1,74 \text{ ng/m}^3$ . Estas cifras se ubican ligeramente más abajo que los rangos observados en el grupo de ciudades seleccionadas. A modo de referencia, varios estudios hechos en los Estados Unidos entre 1978 y 1997 entregan un rango para aire urbano de  $0,37$ - $13,5 \text{ ng/m}^3$  (ATSDR 2000).

Las 14 muestras de aire del estudio de 1998 en Santiago tuvieron un rango de PCBs de  $1,16$ - $2,75 \text{ ng/m}^3$  y en las 25 muestras del año 2001 el rango fue de  $0,54$ - $1,93 \text{ ng/m}^3$ , diferencia importante que puede obedecer a diversos factores.

## COPs en otros medios

Los COPs menos medidos y evaluados en Chile han sido dioxinas y furanos. Sólo se identificó dos documentos institucionales que, más que investigaciones formales, tienen un carácter exploratorio en una diversidad de elementos ambientales en la zona centro-sur del país. También se han hecho mediciones en suelos de la ciudad de Santiago en el 2002, como parte de una actividad de capacitación al interior del CENMA, pero cuyos resultados no están disponibles.

En 1999 se midió dioxinas (CDD) y furanos (CDF) en muestras de aserrín de aserraderos y de aguas superficiales y subterráneas ubicadas al interior de los aserraderos y en lugares cercanos a éstos, en las Regiones VII, VIII y IX. Las muestras fueron analizadas en Canadá (SAG 2000). En el aserrín, se detectó congéneres de dioxinas y furanos de alta toxicidad en las muestras de las tres regiones; las CDD se identificaron en 54 ocasiones y los CDF sólo en 6 ocasiones; la sumatoria más alta de TEQs individuales estuvo en la Región IX ( $78.200 \text{ pgTEQ/g}$ ), seguida por las muestras de la Región VII ( $47.400 \text{ pgTEQ/g}$ ) y por la VIII Región ( $14.000 \text{ pgTEQ/g}$ ). En cuanto a aguas superficiales, las sumatorias de los TEQs en 8 lugares dieron valores que variaron entre  $2 \text{ pgTEQ/L}$  y  $151 \text{ pgTEQ/L}$ , todos ellos en la VIII Región; la mayor parte de los valores estuvieron entre  $2$  y  $16,5 \text{ pgTEQ/L}$  y en dos lugares se encontró los valores más altos, de  $128$  y  $151 \text{ pgTEQ/L}$ . En aguas subterráneas, en siete pozos muestreados los valores estuvieron entre no detectados, trazas y  $0,2$  a  $0,8 \text{ pgTEQ/L}$ . La única muestra de suelo procesada dio una concentración de  $3,9 \text{ pgTEQ/g}$ . Las muestras de agua estuvieron positivas para entre 3 y 5 congéneres simultáneos diferentes; predominaron grandemente las CDD sobre los CDF, detectados en 38 y en 4 ocasiones respectivamente. La gran diferencia entre valores de aguas superficiales y

subterráneas, confirma la dificultad característica de las dioxinas y los furanos para migrar a través de los suelos desde la superficie hacia aguas subterráneas.

El perfil de congéneres de dioxinas fue similar en aserrines y aguas, con predominio de los grupos más tóxicos, con alto contenido de cloro; los más frecuentemente identificados fueron los grupos hexa- (41%), hepta- (22%), octa- (17%) y los tetra- y penta- se presentaron ambos con una frecuencia del 10%. De las 10 muestras que evidenciaron furanos, en 8 fueron del grupo octa- y en dos del hepta-.

El segundo documento informa de mediciones de dioxinas y furanos en muestras de cenizas de incinerador, suelos, aserrín, lodos, corteza, celulosa, agua y residuo industrial líquido, tomadas en 1999 en los Servicios de Salud Aconcagua, Concepción y Bio Bio. Las muestras fueron procesadas en Canadá (Ministerio de Salud 2000).

En las heterogéneas muestras del SS Bio Bio, no se detectó dioxinas ni furanos en agua, celulosa, corteza y RIL, pero sí en suelo (2.780 pgTEQ/g), lodo (60.500 pgTEQ/g) y aserrín (7.010.000 pgTEQ/g). En dos muestras de cenizas de un incinerador del SS de Aconcagua, se detectó sendos valores de dioxinas de 1.400 pgTEQ/g y 787 pgTEQ/g. En dos muestras de dos incineradores del SS Concepción, los niveles fueron de 23.000 pgTEQ/g y de 32.400 pgTEQ/g.

Un gran avance se ha logrado con el inventario de fuentes emisoras de dioxinas y furanos recientemente elaborado, que identifica las fuentes según regiones y los principales medios hacia los cuales se emiten. Los principales procesos emisores son la incineración de residuos (31%), combustión incontrolada (24%) y generación de energía y calefacción (24%). Las más importantes vías de liberación son el aire (59%), los suelos (19%), los residuos (11%), productos (7%) y aguas (4%); la mitad de las emisiones al aire proceden de los incineradores hospitalarios y en el sur las quemadas agrícolas y forestales (especialmente en Regiones VIII y IX) generan el 24% de la categoría combustión incontrolada. Las regiones más productoras según orden de importancia son VIII, IX, VII y X, responsables del 74,5% del total de emisiones, les siguen la RM (9%), la VI (5%) y la V (3%); aproximadamente el 92% de las emisiones nacionales de dioxinas y furanos se genera entre las Regiones V y X (UDT 2004).

Se echa de menos en el inventario la magnitud de la participación de la actividad productiva forestal-maderera, por el prolongado y amplio uso que hasta muy recientemente ha hecho del pentaclorofenol con sus altos contenidos de dioxinas y furanos y por la generación

de importantes acopios de aserrín contaminado con dioxinas en las regiones forestales. Cabe mencionar que el valor más alto de dioxinas registrado por las exploraciones institucionales arriba señaladas (7.010.000 pgTEQ/g) está en la muestra de aserrín procedente del SS Bio Bio.

### Discusión y comentarios

Se observa frecuente heterogeneidad en la manera de informar los resultados. Al momento de definir la base orgánica en que se hizo la medición, lo que hace difícil efectuar comparaciones entre estudios sin una previa conversión. Los resultados de materiales biológicos de animales y biota se refieren a base grasa u otro tejido orgánico, peso seco o peso húmedo, etc. Dado que los COPs son altamente lipofílicos, varios autores han recomendado normalizar las concentraciones de acuerdo con el peso lipídico al momento de hacer mediciones en especies de las cadenas tróficas. Algunas publicaciones informan concentraciones en términos de promedios y se desconoce el número de muestras y los valores que los produjeron, lo que impide efectuar nuevos cálculos de interés. Otros estudios entregan valores sólo en rangos de concentración máxima y mínima. Algunas veces se presentan resultados con porcentajes calculados sobre muestras muy pequeñas. También las comparaciones se hacen difíciles cuando algunos estudios entregan resultados obtenidos con técnicas simplificadas de menor costo que difieren de las técnicas convencionales en cuanto a grado de recuperación y a grado de variación, lo que influye en la capacidad de detección analítica.

Son pocas las publicaciones que muestran resultados que son producto de planes sistemáticos de vigilancia y monitoreo de COPs a nivel regional, nacional o incluso internacional. Una publicación extranjera informa la participación de Chile en un monitoreo internacional sobre contenidos de COPs en organismos marinos costeros (Sericano et al. 1995), también están los trabajos de la Universidad de Concepción como parte de la vigilancia colaborativa de la calidad del medio marino promovida por la CPPS. No obstante, en cuatro instancias nacionales se puede apreciar este esfuerzo; a saber, la vigilancia de los niveles de POCs en alimentos por parte del Ministerio de Salud/ISP/SS efectuada hasta 1993 y reactivada en 2003, las investigaciones de la UACH en alimentos en las regiones ganaderas durante la década de 1980, los dos estudios del INIA en ámbitos agropecuarios durante la década de 1980 y el plan de investigaciones que el Centro EULA de la Universidad de Concepción inició a mediados de los 1990s con énfasis en PCBs.

Las universidades e institutos especializados han sido la principal fuente de información. Se han hecho mediciones ocasionales de COPs en otras instituciones.

El 89% de los estudios identificados corresponde a estudios en ambiente, que proporciona una base relativamente aceptable como para formar un primer diagnóstico de la situación ambiental; el 11% restante corresponde a estudios de monitoreo biológico en humanos. No se encontró estudios explícitamente orientados a estudiar una asociación entre COPs y algún efecto adverso en la salud de las poblaciones humanas.

La ocurrencia de los COPs presenta patrones geográficos relativamente bien definidos. Los POCs se usaron intensivamente entre las Regiones V y X antes de ser progresivamente prohibidos entre 1985 y el 2002. Los PCBs se encuentran difundidos por todo el territorio y las grandes existencias identificadas en uso o almacenadas se encuentran de preferencia en las Regiones II, III, Metropolitana y VIII. Tres cuartas partes de las emisiones nacionales de dioxinas y furanos se generan entre las Regiones VII y X. Este perfil delimita las poblaciones que han estado más expuestas en el país a los COPs mencionados, aun cuando la distribución nacional de alimentos y la migración a distancia de los COPs han extendido la exposición a toda la población. Aun así, la exposición a COPs seguiría también un patrón geográfico, lo cual se deduce además de los niveles más altos alcanzados por los COPs en humanos, alimentos, biota y otros medios en las regiones que han recibido las mayores emisiones. Las concentraciones medidas en diferentes puntos del país, incluso en zonas remotas como el altiplano de la Región I, el nacimiento de ríos en la alta cordillera de la zona central y los fiordos de las Regiones XI y XII, permiten concluir que gran parte de los habitantes del país han estado expuestos a niveles variables de COPs.

Las actividades contaminantes con POCs han sido dispersas, no se las puede clasificar como emisiones puntuales. Además, se desconoce las cantidades de plaguicidas usados durante décadas antes de las prohibiciones, las estadísticas de importación de plaguicidas clorados no están en la actualidad fácilmente disponibles. También se desconoce el perfil de fuentes de PCBs, dioxinas y furanos que hubo en el pasado. Es probable que las emisiones de dioxinas y furanos hayan aumentado en los últimos años con el desarrollo industrial, comercial, forestal y de servicios del país; sin embargo, uno de los patrones actuales más importantes de emisiones corresponde a esquemas de sociedades rurales, con combustión de biomasa para fines domésticos y quemas agrícolas y forestales, situaciones que antaño quizás fueron más frecuentes (UDT 2004).

A fines de la década de 1970 se inician en Chile las mediciones de COPs en ambiente y humanos. Las matrices más frecuentemente estudiadas han sido los alimentos para humanos, las muestras biológicas humanas y el medio abiótico. Sin embargo, no hay suficientes datos ambientales consistentes, secuenciales y representativos en tiempo y espacio, lo que explica el escaso conocimiento local sobre la dinámica ambiental de los COPs. Los datos en la biota no son lo suficientemente abundantes como para obtener conclusiones más fundamentadas, especialmente en lo que se refiere a cadenas tróficas y rutas ambientales de exposición. No obstante, los estudios en biota acuática han permitido identificar las concentraciones más altas en los extremos de las cadenas tróficas, especialmente aves ictiófagas. Hasta ahora, no se ha estudiado la exacta contribución de las cadenas alimentarias a la exposición humana a COPs; algunos ensayos en las zonas ganaderas se hicieron para evaluar los patrones de distribución de POCs entre suelos, empastadas, grasa de vacunos y leche (INIA 1990). La evaluación ecotoxicológica se ha desarrollado en los últimos años mediante la identificación de biomarcadores en el medio y de sus patrones de distribución espacial, especialmente en medios acuáticos en la zona sur y austral del país; investigadores de Concepción han sido pioneros en este aspecto.

Hay moderada información sobre aguas, sedimentos y suelos y muy poco sobre aire urbano, medio éste en donde interesa conocer los niveles actuales de PCBs, dioxinas y furanos. No hubo determinaciones de POCs en aire y aún existe un vacío de información especialmente en suelos, considerando la estrecha relación entre suelos y alimentos. Salvo lo hecho para PCBs, la identificación de las rutas de transporte y dispersión de COPs en el ambiente ha sido pobre. Cabe señalar que este perfil nacional se repite de modo más o menos parecido en los países sudamericanos (UNEP/GEF 2002).

Las iniciativas para medir POCs en ambiente habrían durado hasta aproximadamente 1997 para luego reactivarse muy recientemente a fines del 2003 con el reinicio de la vigilancia de POCs y PCBs en leche en polvo por parte del Ministerio de Salud (ISP 2004). En los últimos años las mediciones en ambiente han estado orientadas a los PCBs.

Un estudio de niveles cronológicos de POCs en sedimentos de lagunas en la Región VIII (Barra et al. 2001a) permitiría extrapolar e inferir que la exposición humana a plaguicidas clorados fue significativa desde aproximadamente 1968, lo que se puede afirmar con mejores evidencias desde fines de la década de 1970, que es cuando se hacen las primeras mediciones en humanos y ambiente. Se pudo elaborar para la década de 1980 un perfil elemental del nivel de exposición en la

población general, a través de las concentraciones de COPs en leche materna y tejido graso subcutáneo e indirectamente mediante las mediciones en alimentos. Pero hay un gran desconocimiento acerca del grado de exposición y riesgo pasado y presente en trabajadores.

Esta exposición fue mayor en el sur que en el resto del país; se evidenció durante la década de 1980 una gradiente geográfica definida en las concentraciones de POCs en leche humana, tejido graso humano subcutáneo, leche de vaca y derivados y grasa perirrenal de vacunos, con incremento desde la zona central hacia las regiones ganaderas y lecheras del sur (Tablas N° 3, 5, 7 y 14). Los datos en suelos y aguas superficiales presentaron en cambio gradientes a la inversa, las concentraciones de POCs son más altas en estos medios en la zona central y descienden a medida que se avanza a las regiones del sur (INIA 1990). Esto no se debería a que en el sur el ambiente haya recibido menos plaguicidas sino que probablemente se deba al lavado del suelo por las lluvias y a la dilución por el mayor caudal de los ríos.

Aparentemente los indicadores humanos de exposición a POCs (leche y tejido adiposo) no se miden desde hace varios años; la última medición identificada en humanos (DDT) se hizo en 1996 (Mariottini et al. 2002).

El patrón geográfico de la exposición se ha visto modificado en el tiempo por la intervención que prohibió el uso de POCs. Seis de los nueve plaguicidas COPs fueron prohibidos en Chile entre 1984 y 1988 (Anexo 1). Comparando con las mediciones efectuadas a fines de la década de 1970, varios de los plaguicidas redujeron sus niveles y su ocurrencia en los últimos 20 años en humanos y ambiente, especialmente alimentos y suelos. A fines de los 1980s se notaba un claro descenso de las concentraciones de COPs en el material biológico humano (Tabla N° 1), en leche de vaca y derivados (Tabla N° 4), suelos agrícolas superficiales de gran parte del país (Tabla N° 19) y medio marino costero (Tabla N° 22). Una clara evidencia de esto se muestra para el DDT en las tablas contenidas en el Anexo 8. Sin embargo, luego que algunos plaguicidas alcanzan y mantienen niveles bajo los límites permisibles, han sido frecuentemente detectados en bajas concentraciones y por largo tiempo en distintas latitudes.

La información recogida no permite determinar si la población ha sido significativamente afectada en su salud por los altos niveles de contaminación alcanzados por los COPs en el ambiente. Las concentraciones que han sobrepasado en magnitud y frecuencia los LMR, significan en principio un peligro para la población. Se supone que

mientras más se sobrepasen tales límites mayor es el riesgo de toxicidad acumulativa y de desarrollar algunos de los efectos adversos descritos por la investigación a nivel mundial.

Los plaguicidas más frecuentemente informados en alimentos y otros medios han sido DDT y metabolitos, aldrín, dieldrín, heptacloro y hexaclorobenceno. DDT y dieldrín se han mostrado especialmente difundidos y ubicuos en el medio nacional, incluso bastante avanzado el periodo post prohibición, pero en bajas o muy bajas concentraciones. Muy descriptivo ha sido el descenso del DDT después de la prohibición, con un rápido descenso en varios medios quedando a menudo bajo los LMR. En cambio, dieldrín, clordano y heptacloro, alrededor de 1990 sobrepasaban con mucha amplitud los LMR, aun cuando ya habían sido prohibidos en 1983 para uso en empastadas y prohibidos del todo a principio de 1988. La persistencia de los COPs a largo plazo en bajas concentraciones es un hecho generalizado; en los Estados Unidos a mediados de la década de 1990, el 94% de las muestras de peces indicaba presencia de DDT y sus metabolitos a 20 años después de haberse prohibido su uso (ATSDR 2002).

Aldrín y dieldrín han sido de los más frecuentemente detectados después del DDT; como metabolito más persistente que el aldrín con frecuencia el dieldrín es el único en estar presente en diversos tipos de matrices, su ocurrencia es frecuente tanto antes como después de su prohibición, incluso bastante avanzado el tiempo posterior a ésta. Prácticamente todos los POCs han sido detectados por estudios nacionales en sedimentos fluviales y marinos, demostrando lo que la literatura internacional ya ha señalado, que este medio es gran acumulador de COPs e iniciador de las cadenas tróficas de medios acuáticos (Chuecas et al. 1989, Palma-Fleming et al. 1998b, Palma-Fleming et al. 2000, Barra et al. 2001a y 2001b, Bonert 2002).

Escasa ocurrencia han mostrado endrín, mirex y toxafeno. No obstante, se presume que durante las décadas de 1980 y 1990 ha ocurrido algún grado de exposición a toxafeno y mirex, que sólo fueron prohibidos en 1998 y 2002 respectivamente. También las posibilidades de exposición actual al hexaclorobenceno son reales dada su reciente prohibición en el 2002 y a que es un compuesto que además se usa a nivel industrial (Anexo 1).

No se identificó datos acerca de la exposición ocupacional en actividades de formulación, preparación y aplicación de plaguicidas, dado que las mediciones de plaguicidas en el medio laboral y en los trabajadores aparentemente no se han hecho, han sido escasas, no han sido publicadas o son de difícil acceso. La exposición de la población gene-

ral a POCs ha ocurrido de preferencia por vía digestiva a través de alimentos, aunque cada vez en menor intensidad según se infiere de la tendencia temporal descendente de las concentraciones ambientales (Tablas N° 3 a 14). La exposición más significativa ocurrió por consumo de leche y derivados, carnes y pescado; otros alimentos (huevos, aceites, harinas) presentan muy bajo riesgo por los muy bajos niveles de residuos encontrados en ellos. Dada la persistencia de los POCs se presume que la exposición humana a estos compuestos aún ocurre, a concentraciones que no han sido evaluadas sistemáticamente en los años recientes.

No se pudo precisar la magnitud de la exposición de la población chilena por medio de frutas y hortalizas, debido a que las mediciones altamente favorables en cuanto a los muy bajos niveles de POCs en estas matrices, en su mayoría se hicieron en productos de exportación. Esta situación se refrenda por los registros de importaciones de la FDA en los EUA, que desde 1991 no informa de rechazos de alimentos procedentes de Chile por contener residuos de POCs por encima de sus límites permitidos. Algo parecido sucedió con los huevos de consumo, los tres estudios efectuados entre 1986 y 1988 mostraron niveles de COPs muy por debajo de los límites permitidos, situación que refleja las precauciones de un proceso industrial que impide la exposición de las aves a la contaminación ambiental del momento.

En cambio, no fue posible conocer las condiciones respecto de niveles de COPs en alimentos importados por Chile; las explicaciones recogidas sobre esta situación adversa fueron imprecisas, aparentemente no existen publicaciones o documentos institucionales que muestren resultados de la vigilancia sanitaria de residuos de COPs en alimentos importados, en especial los de riesgo, como carnes, leche y derivados y productos de mar. Posiblemente no han sido monitoreados para detectar residuos de COPs. La inquietud se basa, entre otros, en el hecho de que durante los últimos 20 años los países sudamericanos han mostrado diferentes grados de progreso respecto a sus procesos de prohibición de los POCs, varios de ellos con rezago respecto a lo que se ha hecho en Chile (UNEP/GEF 2002); entre 1990 y 2002, siete países han efectuado un total de 37 prohibiciones de COPs, Brasil los mantiene al menos hasta el 2002 sólo en calidad de restringidos.

La magnitud de la contaminación química del medio marino costero no estaba suficientemente conocida durante la década de 1970 y se hacían estimaciones de carácter cualitativo basadas en datos limitados sobre fuentes contaminantes terrestres (Cabrera et al. 1979, Bore et al. 1986). El tipo de publicaciones señaladas en párrafos precedentes y otras sobre mediciones de COPs en aguas, sedimentos y

organismos marinos efectuadas a partir de la década de 1980, permiten disponer de una idea bastante acabada acerca del impacto de los COPs en los ecosistemas marinos costeros (Bonert 2002, Chuecas et al. 1987 y 1989, Gutiérrez 1989, Sericano et al. 1995, Muñoz et al. 1999, Barra et al. 2002). Varios de los estudios en medio marino se han hecho en organismos que son de consumo humano y en los cuales se ha encontrado concentraciones de COPs que sobrepasan los LMR internacionales o nacionales (Wartemberg 1978, Chuecas et al. 1989, Fuentealba 1997, Barra et al. 2002, Hites et al. 2004).

Durante la década de 1990 surge el interés por evaluar los PCBs. Las publicaciones con mediciones de PCBs en Chile bordea la veintena de trabajos. De 19 estudios identificados sobre PCBs, tres son mediciones en humanos, el resto estudia alimentos y ambientes biótico y abiótico. Los PCBs también se han mostrado ubicuos en el territorio nacional, se les encuentra en zonas remotas y en sectores en donde no se reconocen fuentes (Sericano et al. 1995, Barra et al. 2002, 2004a y 2004b); las concentraciones más altas se han medido en áreas urbanas, industriales y mineras, en regiones en donde estas actividades son importantes (II, III, Metropolitana y VIII). Los grupos de congéneres más prevalentes en la mediciones nacionales han sido los grupos tetra-, penta-, hexa- y hepta-clorobifenilos. Éstos y los congéneres específicos presentan patrones de distribución que varían dependiendo del tipo de muestra, región geográfica y según urbano-rural; además, dependen de la distribución de los productos comerciales que los contienen. Aun cuando las concentraciones encontradas a veces aparentan ser altas, el perfil de contaminación nacional con PCBs es varias veces menor que los niveles que presentan los países industrializados. Los estudios muestran concentraciones ambientales y humanas de PCBs en general medianas o bajas, hasta diez veces más bajas que las informadas en países desarrollados del hemisferio norte (CONAMA 2001, Mariottini et al. 2000, Mariottini et al. 2002, UNEP/GEF 2002). Aun así, el nivel de PCBs en leche materna en la Región X sobrepasó en cinco veces el valor establecido por la FDA (Tamayo et al. 1994). Las concentraciones de PCBs en aire urbano están en niveles similares o algo menores de lo que se observa en grandes ciudades del mundo (CENMA 2001, Mandalakis et al. 2002).

El área de dioxinas y furanos, compuestos ubicuos y de alta toxicidad, ha sido la menos desarrollada en Chile respecto a identificar fuentes emisoras y medir concentraciones. No hay registros ni estudios sistemáticos en ambiente ni humanos. Los análisis para evaluar escasas situaciones ambientales puntuales se han realizado en el extranjero y sus resultados no permiten formarse una idea acabada de la situación nacional. Lo que sí queda claro es que los niveles de concentra-

ción de dioxinas encontrados son extremadamente altos. La falta de capacidad analítica instalada en el país ha sido la limitante para iniciar un diagnóstico de situación; no hay laboratorios en el país que tengan implementadas las técnicas de medición. Habitualmente se presentan como residuos traza, condición que exige de técnicas analíticas costosas. Al año 2004, no existen normas nacionales relativas a dioxinas y furanos. La reciente elaboración del inventario de emisiones ha permitido identificar las regiones con mayor riesgo de exposición para sus poblaciones (UDT 2004).

En cuanto a estudios de efectos adversos en salud humana, destaca en la década de 1990 el surgimiento de estudios sobre daño de tipo reproductivo en trabajadores de las zonas con actividad agrícola intensiva en la zona central de Chile. Sin embargo, en ellos no se ha identificado correlación con la exposición a plaguicidas clorados, dado que tales estudios han surgido en paralelo con el creciente desarrollo agroexportador de los años 1990s, época en la cual ya no se usaron los plaguicidas clorados toxicológicamente más cuestionados.

De la recopilación bibliográfica se infiere que en el área de los COPs, aparentemente en Chile no se habría efectuado evaluaciones epidemiológicas ni toxicológicas. No se ha detectado referencias de estudios nacionales que aborden efectos crónicos en salud humana asociados a la exposición a los POCs. La información disponible en este campo en su totalidad procede de estudios que se efectúan en los países industrializados. En su gran mayoría las descripciones de efectos adversos en humanos por exposición crónica a COPs descritos en el Anexo 5 proceden de investigaciones desarrolladas y promovidas por dichos países.

Algunos hechos refuerzan la percepción de que las concentraciones ambientales de los POCs en general podrían encontrarse en Chile en niveles medianos y bajos. Las mediciones de gran parte de los POCs investigados en años posteriores a las prohibiciones, han mostrado niveles de concentraciones que en general se ubican por debajo de los LMR respectivos, lo que evidencia la efectividad de tales medidas; ocasionalmente los sobrepasan pero lo hacen en baja magnitud. En 1992 el proyecto internacional Mussel Watch Program (Sericano et al. 1995) ubicó a Chile en un lugar favorable en cuanto a niveles de contaminación en bivalvos; los investigadores efectuaron la sumatoria de resultados de todos los compuestos estudiados en los 127 lugares de muestreo en las Américas y las ordenaron por cuartiles; los siete lugares de Chile se ubicaron en el cuartil inferior, en el 25% que mostró los menores niveles de contaminación total por los tres COPs medidos; además, ninguno de los valores de Chile superó límites nor-

mativos de alerta internacionales. La prospección de multi-residuos hecha en años 2000-2002 en fruta fresca de exportación (FDF et al. 2002) no encontró residuos de COPs prohibidos; aun con el sesgo de ser productos de exportación, los resultados reflejan sin embargo que la calidad de los suelos es buena respecto a residuos POCs. Los programas de vigilancia de los Estados Unidos para detectar residuos de COPs en alimentos importados desde Chile, no han hecho rechazos por esta causa desde principios de la década de 1990. El inventario de existencias de plaguicidas COPs caducados hecho por el SAG durante el año 2003, encontró que el 90% de ellos se encuentra en condiciones de almacenamiento aparentemente adecuadas (SAG 2004); además, el inventario de COPs caducados de uso sanitario y doméstico encontró sólo DDT en una cantidad baja en los servicios de salud y ningún POC en las empresas aplicadoras de plaguicidas domésticos (Ministerio de Salud 2004).

No es fácil analizar comparativamente la ocurrencia de los POCs y los tres COPs no intencionales. En 1978 nace en Chile un gran interés por investigar los plaguicidas generando información en cantidad relativamente importante, la mayor parte de los estudios de POCs se ubica en la década de 1980; en cambio, la preocupación por los PCBs, dioxinas y furanos es relativamente reciente, gran parte de las 21 publicaciones sobre PCBs y dioxinas surge después de 1995. No se compara la base de datos generada en el país por estos contaminantes con la de los POCs. La calidad de la tecnología analítica es significativamente diferente entre la década de 1980 y los años recientes. El énfasis para con los POCs estuvo en alimentos, los PCBs se han buscado primero en el ambiente biótico y abiótico y luego en alimentos. Algo parecido ocurre al decidir dónde buscarlos, dada la mayor ocurrencia de los plaguicidas en sustratos del medio rural y de los PCBs en ámbitos donde se ubican actividades industriales, mineras y energéticas.

Un elemento para tener en consideración cuando se analizan comparativamente las tendencias temporales de los resultados de la mediciones, es el hecho de que en los últimos 25 años ha habido cambios importantes en la técnicas analíticas, con todo lo que ello implica al comparar los valores obtenidos. La interrogante que surge se refiere a si los resultados al comienzo hubiesen sido significativamente diferentes desde el punto de vista cuantitativo si se hubiese dispuesto de las tecnologías actuales. En gran medida la mejor capacidad analítica ha influido en que el perfil de los estudios haya tenido cambios en algunos aspectos entre los años 1979 y 2004.

De las 64 investigaciones identificadas, en 57 se presentaron adecua-

damente en la sección material y métodos los antecedentes analíticos aplicados en la investigación. Se efectuó una evaluación de algunos parámetros principales asociados a las técnicas. Los parámetros de sensibilidad, exactitud, trazabilidad y analitos recibieron cada uno una calificación. La suma proporcionó una calificación total acerca de la calidad analítica del estudio. La escala resultante varió entre la calificación más baja de 4 puntos y la calificación mejor con 12 puntos. Esta escala se subdividió en tres niveles ascendentes de calificaciones: 4 a 6 nivel bajo-regular, 7 a 9 nivel intermedio-bueno y 10 a 12 nivel muy bueno. Los 57 estudios se distribuyeron del modo siguiente: 24 (42%) estuvieron en bajo-regular, 17 (30%) en nivel intermedio-bueno y 16 (28%) en categoría de muy bueno (Anexo 9).

De modo progresivo las calificaciones van subiendo en esta escala según se avanza desde 1979 hacia el 2004. Además, en el periodo de los años 1978-1995 predominan los estudios en alimentos y en humanos; en cambio, entre 1996 y 2004 el énfasis de la investigación es sobre medio abiótico (aguas, aire, sedimentos) y secundariamente sobre biota y alimentos; sólo hay dos estudios en humanos en este segundo periodo (Anexo 6). Igualmente, en el primer periodo recién señalado las publicaciones corresponden a ponencias ante eventos tipo congresos, simposios, seminarios, etc. y artículos de revistas nacionales, para cambiar a partir de 1996 de preferencia a publicaciones en inglés en revistas internacionales. Los análisis de las muestras hechos en el extranjero y los trabajos conjuntos entre laboratorios nacionales y de países desarrollados, comienzan a ser frecuentes desde 1996 (Anexo 9).