

# CAPITULO III

## **“PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA”**



## CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

La información presentada en esta sección corresponde a un marco informativo teórico y básico de lo que actualmente se conoce en cuanto a riesgo, toxicología ambiental y efectos adversos de los COPs, desarrollado en el contexto de las condiciones nacionales.

En el estudio y el control de las situaciones causadas por la contaminación ambiental con sustancias tóxicas en niveles potencialmente peligrosos para la salud, se toma en cuenta el contexto de interacción de una diversidad de factores que favorecen la aparición de efectos adversos en las poblaciones expuestas a dichas sustancias. Estos factores se conocen como *factores de riesgo*. El análisis del conjunto de factores de riesgo se entiende como un enfoque ecológico del proceso salud-enfermedad, en el que participan e interactúan el ambiente físico y social, las sustancias nocivas y las poblaciones susceptibles de ser afectadas por dichas sustancias.

Se entiende por *riesgo* la posibilidad de que ocurra lesión, enfermedad o muerte, bajo determinadas condiciones. Se entiende como riesgo de causa ambiental a la posibilidad de lesión, enfermedad o muerte como consecuencia de la exposición a un factor ambiental peligroso. Factor de riesgo será la condición, característica o circunstancia de cualquier naturaleza que favorezca un aumento en la posibilidad de que ocurra un daño en la salud y bienestar.

Metodológicamente los factores de riesgo se buscan e identifican en los siguientes planos: el agente nocivo bajo estudio (en este caso los COPs), el medio físico en donde el agente nocivo está presente (aire, agua, alimentos, etc), los individuos que residen en dicho medio y que pueden ser dañados y el ambiente social que modula y condiciona en gran medida a los tres anteriores. El medio ambiente se refiere tanto al medio físico en donde se ubica la sustancia nociva como al medio social que influye en la ocurrencia y la gestión de la sustancia en el medio humano.

Lo habitual es la presencia de variados elementos favorecedores del daño biológico en los planos mencionados y es un desafío identificar el peso relativo que cada uno tiene en la ocurrencia de enfermedad y muerte en la comunidad. Esto tiene importancia al momento de adoptar medidas correctivas del problema mediante programas de prevención y control, dado que facilita el establecimiento de prioridades en la intervención.

### Factores propios de las sustancias

En este rubro se consideran dos aspectos principales como elementos de riesgo: las características físico-químicas de las sustancias y la cantidad de la sustancia que ingresa al organismo en un tiempo dado, o sea, la dosis de exposición.

En su gran mayoría los compuestos orgánicos persistentes (COPs) son sustancias de carácter sintético y por sus características químicas (aromáticos, baja polaridad y estabilidad de los enlaces carbono-cloro) son poco reactivos y bastante resistentes a la acción de degradación de tipo químico, fotoquímico, bioquímico y bacteriano que existe en general en el ambiente. A mayor número de átomos de cloro en la molécula son

mayores la estabilidad de la molécula, la persistencia, la resistencia a la degradación, la liposolubilidad y la tendencia a bioacumularse; en cambio, la presión de vapor y la tendencia a volatilizarse tienden a disminuir. Todo ello hace que su permanencia en el medio y la vida media sean prolongadas (Anexo 3).

Los compuestos organoclorados se caracterizan además por el siguiente perfil de carácter físico y químico: Son moléculas de alto peso molecular, esencialmente liposolubles y en general muy poco solubles en agua, la presión de vapor es variable pero en general se mueve en el margen de  $10^{-3}$  y  $10^{-9}$  mm de Hg a 20 grados centígrados, lo que va a condicionar su potencial de volatilización y el tipo de fase –vapor o particulada– que adoptará en el aire.

Un elemento toxicológico adicional para tener en cuenta es el hecho que algunos COPs al sufrir desdoblamientos y transformaciones en el ambiente, generan metabolitos que son más tóxicos que la sustancia original, como ocurre con DDT, aldrín y endrín. Este fenómeno también ocurre al interior de los organismos vivos, biota y humanos.

Estas características incrementan la peligrosidad intrínseca de estos compuestos al aumentar las posibilidades de que los organismos vivos sufran exposiciones a altas concentraciones ambientales y con frecuencia durante tiempos prolongados. Esta condición es uno de los factores más destacados de los COPs en cuanto a riesgo para la salud.

También se genera un perfil ambiental complejo de los COPs, el cual debe ser investigado en los niveles locales para conocer mejor los mecanismos y la magnitud de exposición humana. Son ubicuos, se adsorben fuertemente a los suelos y, en los medios acuosos, a partículas en suspensión y sedimentos, con lo cual presentan una muy baja tasa de migración en estos dos medios; las posibilidades de percolación en suelos y la contaminación de aguas subterráneas son bajas; en cambio, tienen potencial de volatilizarse y parte de lo que está en suelos puede ser transportada por aire a largas distancias. Dado que son resistentes a los diferentes tipos de degradación son altamente persistentes en el ambiente y en los organismos animales, se bioacumulan incrementando sus niveles de concentración en los componentes ascendentes de las cadenas tróficas terrestres y acuáticas.

La permanencia en suelos en general es por tiempos prolongados. Dado que la vida media en suelos puede ser de hasta 12 años, la persistencia de residuos de los COPs puede ser del orden de 20 a 30

años, dependiendo importantemente esto de los volúmenes de los compuestos que han sido incorporados al suelo, como ocurre con los plaguicidas aplicados en los suelos de uso agrícola. Sin embargo, la contaminación de aguas superficiales a partir de los suelos por escoorrentías es de importancia relativamente baja, por su fuerte fijación a los suelos.

Presentan grados variables de potencial de volatilidad, pero en general no son altos, lo cual no los hace contaminantes importantes del aire, salvo cuando hay grandes cantidades acumuladas en lugares o sitios confinados o se encuentran muy superficialmente. Aun así, pueden ser transportados por los vientos a grandes distancias. Por ejemplo, se estima que del total de PCBs presente en el ambiente, sólo un 0,05% se ubica en la atmósfera.

El fenómeno de bioconcentración y bioacumulación de COPs en las cadenas tróficas terrestres y acuáticas es uno de los más importantes al momento de evaluar el riesgo para la salud. Las cadenas tróficas corresponden a las rutas ambientales de exposición más significativas en la población general, a través del consumo de alimentos contaminados.

Desde el suelo los COPs son absorbidos con facilidad por plantas, empastadas y cultivos e ingresados a raíces y hojas, lo que favorece su migración a través de la cadena trófica terrestre, para alcanzar máximas concentraciones en mamíferos, aves y en los alimentos relacionados. Las fracciones que ingresan en las aguas tienden a acumularse en los sedimentos y a bioconcentrarse, bioacumularse y biomagnificarse en los organismos acuáticos, alcanzando máximas concentraciones en bivalvos y grandes peces. Se les encuentra por tanto altamente concentrados en los tejidos grasos de organismos vivos terrestres y acuáticos (Sawhney et al. 1985).

Los humanos se ubican en el último eslabón de estas cadenas tróficas, al consumir dichos organismos como alimentos. Los humanos también bioacumulan estos compuestos en sus tejidos grasos (Dimitroff 1978, Triviño 1982, Geyer et al. 1986, Serra et al. 1989, Clement et al. 1992, Mariottini et al. 2002). La fase siguiente en esta secuencia, considerada como del más alto riesgo para la salud humana, es el traspaso de los COPs desde la madre, primero, al feto a través de la placenta (Jacobson et al. 1990) y, segundo, al recién nacido mediante la leche durante la lactancia (Laug et al. 1951, OPS 1979, Dimitroff 1978, Rogan et al. 1980, Triviño 1982, Jensen 1983, Yakushiji et al. 1984, Matthews 1984, Conde 1988, Serra et al. 1989, Marcus 1990, Galetin 1990, Torres et al. 1992).

Dadas las altas tasas de persistencia ambiental, la participación de los COPs en las cadenas alimentarias terrestres y acuáticas se mantiene por largos periodos, incluso muchos años después de haberse suspendido el uso de estos compuestos, como ha ocurrido con los plaguicidas clorados prohibidos.

Respecto al segundo factor de riesgo propio de la sustancia, la dosis de exposición, cabe destacar que la magnitud de la exposición (cantidad del tóxico que ingresa organismo), la duración de la exposición y/o la frecuencia de las exposiciones, son variables que van a determinar el desarrollo de los efectos dañinos, si la intoxicación humana será subclínica o clínicamente aguda, subaguda o crónica. La dosis es la cantidad de la sustancia ingresada al organismo, habitualmente expresada en mg por kilo de peso corporal por día (mg/kg peso/día).

### Factores de riesgo propios del ambiente

Entre los factores del ambiente físico que tienen especial incidencia en la exposición potencialmente peligrosa a los COPs; destacan los siguientes:

Características geográficas y meteorológicas del lugar, tales como áreas lluviosas, húmedas, boscosas y con abundancia de cuerpos de agua, podrían reunir condiciones que favorezcan una mayor movilidad de los COPs en el medio, facilitando su volatilización, el intercambio entre suelos y aguas, su remoción y resuspensión a partir de los sedimentos y una incorporación más eficaz a las cadenas tróficas terrestres y acuáticas (ATSDR 1995, CEPIS 1999). En el caso de Chile cabe destacar las diferencias en estos aspectos entre las regiones del norte, centrales y australes. Las zonas semiáridas del centro del país presentan condiciones que pueden influir de modo diferente en la determinación de las rutas ambientales de exposición.

Características locales que también participan son los sistemas de vientos, temperatura media, humedad relativa del aire, tasa de precipitación pluvial y humedad de suelos, radiación solar, pH de suelo y aguas, equilibrio entre condiciones aeróbicas y anaeróbicas en suelos y aguas, magnitud de sólidos suspendidos en los cuerpos de agua, grado de agitación de las aguas que facilita la movilización y resuspensión de los COPs a partir de los sedimentos, como ocurre en ríos corrientes *versus* lagos y lagunas (ATSDR 1995, CEPIS 1999). A modo de ejemplos, el DDT en aguas alcalinas presenta

una vida media relativamente corta, del orden de unos 70-80 días ya que sufre rápida hidrólisis; en cambio en aguas con pH de 3 a 4 su vida media puede alcanzar 12 años; la tasa de volatilización del hexaclorobenceno desde suelos secos es casi nula y en cambio sí ocurre cuando el suelo está húmedo; las dioxinas que se encuentran en la superficie de los suelos presentan una importante volatilización en verano y se fotodegradan fácilmente ante presencia de radiación lumínica, lo que no ocurre cuando se encuentran en profundidad, fenómenos éstos que determinan que su vida media en superficie sea de 1-3 años y en profundidad sea de hasta 12 años.

### Entre los factores del ambiente social, cabe señalar:

- La ubicación de los asentamientos humanos en zonas muy vecinas a predios agrícolas y de otro tipo en donde se haya aplicado intensivamente plaguicidas, vecinas a lugares contaminados en donde se han depositado residuos peligrosos o lugares industriales que acumulan PCBs o lugares con reconocidas fuentes emisoras de dioxinas y furanos, como son los incineradores hospitalarios.
- Grado de disposición de empresarios, trabajadores y población circundante a cumplir normas preventivas en actividades laborales que usan plaguicidas.
- Trabajo infantil con manipulación y aplicación de plaguicidas.
- Políticas de desarrollo agropecuario.
- Política nacional sobre plaguicidas.
- No observancia de la normativa técnica en la aplicación de los plaguicidas.
- Debilidades o limitaciones en la legislación relativa a plaguicidas, ambiente y salud.
- Nivel socio económico y educativo de los individuos bajo riesgo.
- Acceso a servicios de salud.

En Chile se ha estudiado algunas situaciones en que participan varios de los factores sociales señalados, que inciden en la magnitud y en la gravedad de la exposición a los plaguicidas (Rozas 1995, 1998, 1999 y 2000).

### Factores de riesgo propios de los individuos y de las poblaciones humanas

- **Edad:** Los extremos de la vida son biológicamente los más vulnerables ante el contacto con sustancias tóxicas, especialmente las primeras etapas de la gestación intrauterina. Los COPs atraviesan

la placenta alcanzando al feto y también se excretan por la leche materna, representando así un potencial de daño reproductivo, daño al proceso de desarrollo en las etapas tempranas de la vida, alteraciones neurológicas y conductuales, alteraciones en el sistema y equilibrio endocrino, entre varios otros. Los abortos espontáneos y las malformaciones congénitas son algunos de los efectos adversos más reconocidos causados por exposición intrauterina a los COPs (Anexos 4 y 5).

- **Estado de salud-enfermedad:** Se refiere al hecho de que los individuos con enfermedades crónicas o debilitantes están en desventaja al exponerse a estas sustancias, que se caracterizan por su potencial para afectar extensamente al organismo humano (Anexo 5). Las sustancias tóxicas tienden a afectar precoz y preferentemente a uno o más órganos específicos al interior del cuerpo humano, los que por este motivo se llaman órgano blanco; si un individuo padece una enfermedad crónica en un órgano que es blanco para un COP en particular, es altamente probable que la exposición a dicho COP causará un daño más grave que si el órgano hubiese estado sano.
- **Estado nutricional:** Corresponde a un planteamiento similar al precedente, en donde la desnutrición representa una condición desventajosa, ya que los sistemas enzimáticos pueden resultar ineficaces en metabolizar concentraciones peligrosas del compuesto tóxico al interior del organismo y en reparar los daños celulares.
- **Sexo:** Si bien existen susceptibilidades diferentes entre hombres y mujeres ante el contacto con COPs, sobre todo en el aspecto hormonal y en lo relativo al cáncer, lo más destacado en este aspecto es el riesgo asociado a la exposición de la mujer a los COPs respecto del daño reproductivo, específicamente el peligro de daño al embrión, que habitualmente termina en aborto, o al feto, con una amplia gama de efectos adversos que se pueden desarrollar en éste antes o después del nacimiento (Anexo 5).
- **Vía de exposición:** El contacto humano con los COPs puede ocurrir por una o más de las tres vías de contacto, exposición e ingreso al organismo, las vías respiratoria, digestiva y dérmica.

La investigación mundial acumulada asigna primera importancia a la vía respiratoria en la exposición de trabajadores que aplican plaguicidas y en un tono menor pero importante en ocasiones a la vía dérmica. La exposición por vía digestiva en la población general es responsable de la mayor parte del ingreso de los COPs a través de los alimentos contaminados. El riesgo por vía digestiva se magnifica dado el alto grado de lipofilia que presentan los COPs, lo que hace más eficiente su absorción intestinal. No obstante, las posibilidades de la población general de exponerse por vía respiratoria a dioxinas, furanos y PCBs son también significativas en las concentraciones que estos COPs se presentan en el aire de medios urbanos e industriales y de ciertos medios rurales. Las investigaciones efectuadas sobre exposición humana a COPs concluyen en líneas generales que la vía dérmica tiene una importancia relativa baja, incluso en condiciones de exposición laboral (Anexo 5).

- **Patrones de actividad, conducta y hábitos:** Estas variables de riesgo ligadas a factores sociales de riesgo y al quehacer de la comunidad, se refieren a actividades, generalmente laborales, recreativas y deportivas, que ponen a ciertos grupos humanos en contacto más frecuente con los COPs del ambiente. Dado que los COPs tienen gran tendencia a ingresar a las cadenas tróficas terrestres y acuáticas, personas que incorporan significativamente grasas animales en sus dietas (cárneos, lácteos, huevos, etc.) ingresan al organismo cantidades significativas de varios COPs, incluso de plaguicidas ya fuera de uso; lo mismo sucede a quienes consumen dietas centradas en pescado y mariscos. Trabajadores de la vía pública o de actividades asociadas a combustión incompleta de biomasa o derivados del petróleo, se encuentran especialmente expuestos a dioxinas y furanos.

Finalmente, las propiedades físico-químicas del compuesto, las condiciones del ambiente y las características del organismo, determinan un concepto adicional importante relativo al riesgo, la biodisponibilidad. Corresponde a la cantidad total de una sustancia que está disponible en el medio para ser absorbida por un organismo vivo. En el caso de los COPs, las características físico-químicas son el factor más determinante en la biodisponibilidad, en particular la persistencia ambiental y la lipofilia.