



## INFORME PARCIAL:

ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN SALUD POR EXPOSICIÓN A COMPUESTOS  
ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP'S) EN SEDIMENTOS Y SUELO DE  
COMUNIDADES RURALES RIBEREÑAS DEL GRIJALVA EN LOS ESTADOS  
DE TABASCO Y CHIAPAS.

FORDECYT 143303

Dr. Arturo Torres Dosal

[arturo\\_td@yahoo.com](mailto:arturo_td@yahoo.com)

[atorres@ecosur.mx](mailto:atorres@ecosur.mx)

Septiembre 2011

## **ESTIMACIÓN DEL RIESGO EN SALUD POR EXPOSICIÓN A COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP'S) EN SEDIMENTOS Y SUELO DE COMUNIDADES RURALES RIBEREÑAS DEL GRIJALVA EN LOS ESTADOS DE TABASCO Y CHIAPAS.**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES:**

En los últimos 40 años, se ha tomado conciencia en forma creciente sobre las amenazas a la salud humana y al ambiente que representa la liberación cada vez mayor de sustancias químicas de origen sintético. La acumulación de evidencias ha hecho que los esfuerzos se concentren en una categoría de sustancias agrupadas como contaminantes orgánicos persistentes, mejor conocidos como COP's. Un contaminante orgánico persistente (COP) es una de las sustancias más dañinas creadas por los seres humanos. Los COP's son Aldrin, Dieldrina, Endrin, Mirex, Clordano, DDT, Dioxinas y Furanos, Heptacloro, Toxafeno, Hexaclorobenceno (HCB) y los Bifenilos Policlorados (PCB's), cuyos usos han sido prohibidos en las convenciones internacionales (convenio de Estocolmo), pero los cuales encontramos en las comunidades más remotas y más pobres de nuestro continente e incluso en nuestro país (UNEP, 2002).

En resumen, las propiedades que caracterizan a los contaminantes orgánicos persistentes son las siguientes:

- son altamente tóxicos
- son persistentes, es decir que pueden durar muchos años e incluso décadas antes de degradarse en otras formas menos peligrosas.
- se pueden evaporar y viajar grandes distancias por el aire y el agua.
- se acumulan en los tejidos grasos

#### **TOXICIDAD AL AMBIENTE:**

Los contaminantes orgánicos persistentes se han relacionado con efectos significativos para el medio ambiente en una gran variedad de especies y prácticamente en todos los niveles tróficos. Si bien la intoxicación aguda por COP's está bien documentada, preocupan en particular los efectos perjudiciales asociados con la exposición crónica a concentraciones bajas en el medio ambiente. Los contaminantes orgánicos persistentes tienen una larga vida media biológica, facilitando de esta manera la acumulación de concentraciones unitarias aparentemente pequeñas durante períodos prolongados de tiempo. Para varios de estos contaminantes, hay algunas pruebas experimentales de que tal exposición acumulativa a un nivel bajo puede estar asociada con efectos no letales crónicos, entre ellos una posible

inmunotoxicidad, efectos cutáneos, alteración del rendimiento reproductor y carcinogenicidad potencial o patente (Ritter, 1995).

Diversos autores han notificado inmunotoxicidad asociada con la exposición a diferentes COP's. Los investigadores han señalado asimismo que varios COP's prevalentes, como los TCDD, los PCB, el Clordano, el Heptaclorobenceno, el Toxafeno y el DDT han inducido inmunodeficiencia en diversas especies silvestres. La exposición a los COP's también se ha relacionado con la disminución de la población de varias especies de mamíferos marinos, como la foca común, la marsopa común, y la ballena blanca del río san Lorenzo. Además se ha establecido una relación clara de causa-efecto entre el fracaso de la reproducción del Bisón y la exposición a algunos COP's (Ritter, 1995).

En 1991, el comité científico consultivo de la comisión internacional conjunta de los grandes lagos de los estados unidos y Canadá revisaron la literatura existente sobre los efectos de los contaminantes orgánicos persistentes en más de una docena de especies predatoras incluyendo águilas, cormoranes, truchas, visones, tortugas, y otros, encontrando que estas especies padecían de efectos importantes a la salud, además de presentar reducción en su población y disfunciones reproductivas, adelgazamiento de la pared de los huevos, cambios metabólicos, deformidades y defectos de nacimiento, tumoraciones, cáncer, cambios en su comportamiento, fallas en el sistema hormonal y baja de defensas, entre otros (Orris P; y col 2000).

#### TOXICIDAD A LA SALUD HUMANA:

Los seres humanos están expuestos a los contaminantes orgánicos persistentes a través de los alimentos, siendo los más importantes los que son ricos en grasa (carne, pescado y productos básicos). Como resultado de (ATSDR DDT, 2002) se han encontrado trazas de COP's en alimentos tan comunes como hamburguesas, helado y pizza. Los trabajadores y residentes de sitios localizados cerca de fuentes generadoras de COP's están expuestos además a la inhalación y al contacto cutáneo con estas sustancias. Además, se tiene exposición importante de los habitantes de las regiones árticas por la ingestión de animales con elevados niveles de COP's (ATSDR DDT, 2002). Los efectos de los contaminantes orgánicos persistentes pueden ser muy sutiles y desencadenarse a bajas concentraciones, presentándose después de varios años de la exposición, llegando en ocasiones a presentarse en las subsecuentes generaciones (ATSDR CHLORINATED DIBENZO-p-DIOXINS, 1998). Esto hace que su diagnóstico sea difícil de realizar y dificulta la evaluación de los problemas potenciales de salud pública. En los últimos años se ha estado acumulando evidencia científica para relacionar la exposición a COP's específicos con sus efectos a la salud; entre estos, resalta:

- Impedimento en el comportamiento neuronal, incluyendo desorden en el aprendizaje, bajo desempeño mental, y déficit en la atención.
- Alteraciones en el sistema inmune.
- Deficiencias reproductivas.
- Reducción del período de lactancia.

-Cáncer.

El mecanismo más importante para la mayoría de estos efectos es la inducción de disfunciones en el sistema endocrino. Diversos estudios han demostrado que los COP's como la Dieldrina, DDT, Mirex, Toxafeno, Dioxinas y PCB's pueden causar efectos en el sistema reproductivo y endocrino, en el crecimiento celular, en el metabolismo de carbohidratos y lípidos, y sobre la concentración de iones en las células (ATSDR DDT, 2002, ATSDR CHLORINATED DIBENZO-p-DIOXINS, 1998, ATSDR PCB'S, 2000).

#### CONVENCIÓN DE ESTOCOLMO:

El objetivo de la convención de Estocolmo es eliminar o restringir la producción y uso de los contaminantes orgánicos persistentes que se fabrican intencionalmente. Además, se busca minimizar la generación de contaminantes producidos de manera no intencional, como las dioxinas y los Furanos (UNEP, 2002)

El convenio sobre los COP's es una importante realización que viene a complementar otros convenios, acuerdos y planes de acción mundiales o regionales relacionados con el manejo de productos químicos, en especial convenios como: el convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, y el convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo para ciertos productos químicos peligrosos y plaguicidas en el comercio internacional. Actividades incluidas en la convención de Estocolmo los objetivos principales de la convención de Estocolmo son los siguientes (UNEP, 2002).

-Comprometer a comunidad internacional para proteger la salud humana y el ambiente de los contaminantes orgánicos persistentes. -establecer las primeras acciones para detener la emisión y el uso de los doce contaminantes orgánicos persistentes prioritarios.

-Una vez implementado, se prohibirá la producción y uso de Endrin y Toxafeno en los países que han ratificado la convención. -se solicitará que se detenga la producción de Aldrin, Dieldrina y Heptacloro.

-Se limitará la producción y uso de Clordano, Hexaclorobenceno y Mirex para propósitos específicos y para países que tengan registradas exenciones.

-Se prohibirá la producción de Bifenilos Policlorados en el 2025 para que los países se hagan cargo de los equipos que utilicen esta sustancia.

-Los Bifenilos Policlorados se deberán tratar y eliminar para el 2028.

-Se limitará la producción y uso de DDT al control de vectores como el mosquito que transmite la malaria y se permitirá su uso para producir el plaguicida llamado Dicofol.

-Se solicitará a los gobiernos que reduzcan las emisiones de dioxinas, Furanos, Hexaclorobenceno y Bifenilos Policlorados como subproductos no intencionales y hasta donde sea posible eliminarlos.

-Se prohibirá la importación y exportación de los diez contaminantes orgánicos persistentes intencionales y sólo se permitirá su transporte para su disposición final y adecuada.

-Se requerirá a los países miembros que en dos años elaboren sus correspondientes planes nacionales de implementación (UNEP, 2002).

#### COMPROMISOS ADQUIRIDOS POR MÉXICO EN LA CONVENCIÓN DE ESTOCOLMO:

El convenio establece una serie de compromisos y oportunidades para los signatarios, entre las que se incluyen: designar un punto focal nacional; brindar asistencia técnica a otros países que lo requieran; promover la participación pública y la difusión de información; y llevar a cabo actividades de investigación, desarrollo y monitoreo. Entre las principales actividades comprometidas por México dentro de la convención de Estocolmo se tienen:

- Medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de la producción y utilización intencionales
  - a) prohibir y/o adoptar las medidas jurídicas y administrativas necesarias para eliminar su producción y utilización; así como sus importaciones y exportaciones.
  - b) restringir su producción y utilización.
- Se deberá velar para que un producto químico COP's se importe únicamente para fines de su eliminación ambientalmente racional o para una finalidad o utilización permitida.
- Se deberá velar para que un producto químico COP's respecto del cual está en vigor una exención específica para la producción o utilización en una finalidad aceptable, teniendo en cuenta las disposiciones de los instrumentos internacionales de consentimiento fundamentado previo existentes.
- Se deberán adoptar medidas para reglamentar nuevos plaguicidas o nuevos productos químicos industriales, con el fin de prevenir la generación de COP's.
- Se deberán realizar medidas para reducir o eliminar las liberaciones derivadas de existencias y desechos con el fin de garantizar que se proteja la salud humana y el medio ambiente, mediante:
  - a) elaboración de estrategias apropiadas para determinar existencias, los productos y artículos en uso, así como los desechos generados.
  - b) tomar medidas de vigilancia para que se gestionen, recojan, transporten y almacenen de manera ambientalmente racional los residuos con características de COP's.
  - c) determinación de estrategias adecuadas para identificar los sitios contaminados con productos químicos COP's, y en caso de que se realice el saneamiento de esos sitios, ello deberá efectuarse de manera ambientalmente racional.

Este último punto resalta y justifica de gran manera la necesidad que tenemos hacia el interior del país de generar información para facilitar así las actividades de investigación, desarrollo y monitoreo nacionales en materia de Contaminantes Orgánicos Persistentes (SEMARNAT, 2007).

#### COPS EN LA REGIÓN SURESTE DE MÉXICO:

Es debido a su toxicidad y peligrosidad, por lo que la exposición a los COP's es siempre materia de gran interés en diversos aspectos de salud ambiental mundial (UNEP 2002). Desde principios de la década de los ochenta, investigadores nacionales y de otros países iniciaron estudios sobre los niveles de COP's en diferentes compartimentos ambientales en México, además se han negociado acuerdos en el seno de la comisión de cooperación ambiental de América del norte, para a implementación de planes de acción regional (PARAN), y se iniciaron diversas acciones de gestión y regulación.

Actualmente, México tiene un avance significativo en el control de varios de estos compuestos; sin embargo, aún quedan acciones por realizar, las cuales pueden formar parte del plan de acción de implementación del convenio de Estocolmo, el cual se encuentra en proceso de elaboración con la participación de diversas dependencias. Sin embargo, en contraste con los avances logrados en materia de gestión, la capacidad de monitoreo y análisis de COP's en México, en distintas matrices ambientales y biológicas, es escasa o prácticamente inexistente en algunas regiones o en algunos Estados, como los fronterizos del Sur y Sureste del país (SEMARNAT, 2007).

A pesar de lo último, se pueden encontrar en la literatura diversos trabajos que documentan tanto su utilización hasta hace algunos años, así como niveles ambientales y la exposición en individuos para algunos COP's como el caso del DDT, Rodríguez AD y col. 2006 evaluó la aceptación por parte de comunidades rurales en Chiapas del uso de pesticidas, Alegria H,y col. 2006, documenta algunos niveles ambientales de este pesticida en aire en el mismo Estado; Koepke R y col 2004 por su parte describe los niveles de DDT en suero sanguíneo de mujeres embarazadas en esa misma entidad.

Además de los trabajos anteriores, debemos mencionar que actualmente existen algunos antecedentes sobre estudios de COP's en el Estado de Tabasco, la gran mayoría enfocados a hidrocarburos y algunos más en pesticidas; sin embargo, éstos se han realizado como parte de estudios regionales (Gold-Bouchot y col. 1997; Díaz-González G, 1994), dichos trabajos han indicado la presencia de algunos COP's en diversos ambientes (Alegria H,y col 2006; Noreña,y col. 2007); pero también hay resaltar la carencia de iniciativas y de estudios realizados por alguna entidad académica o gubernamental del propio Estado que indiquen los niveles de riesgos asociados a esas concentraciones.

#### CAMBIO CLIMÁTICO Y COP'S:

Si a estos antecedentes, ponemos además en contexto su ubicación geográfica, donde las entidades además de sus condiciones actuales, presentan una vulnerabilidad asociada por ser

áreas afectadas continuamente por eventos graves derivados de los fenómenos del cambio climático, como periodos de sequías extremas, así como también otros periodos de fuertes y continuas lluvias, tenemos como resultado de ello el desarrollo de varios escenarios muy críticos como:

- a) La utilización indiscriminada de productos agroquímicos, para aumentar el poco rendimiento de los cultivos.
- b) El recrudecimiento y aparición de nuevas plagas e insectos vectores de enfermedades como el paludismo y dengue, así como la posibilidad de nuevas distribuciones de los hábitats de los insectos en la zona, que provocaría por tanto una mayor utilización de productos químicos para su control, y finalmente;
- c) Una dispersión acelerada de contaminantes favorecida por los eventos de inundaciones recurrentes.

Todos estos escenarios, y las nuevas condiciones impulsadas por los efectos colaterales del cambio climático revelan la necesidad de plantear estudios de evaluación de riesgo y salud ambiental que aborden- en estas nuevas condiciones- las poblaciones rurales afectadas de los Estados implicados considerando inicialmente: a) las incidencias históricas de enfermedades transmitidas por vectores y b) su consecuente exposición de manera recurrente a los pesticidas utilizados por las dependencias de salud y por propia iniciativa derivadas de las estrategias de control químico de los mosquitos.

#### EVALUACIÓN DE RIESGO EN SALUD:

La evaluación del riesgo para la salud es un proceso cuya finalidad es la asignación de magnitudes y probabilidades de aparición de efectos adversos en una población como consecuencia del contacto con un sitio peligroso, constituye un instrumento con los pasos necesarios para identificar, priorizar y caracterizar los sitios peligrosos, por lo que puede emplearse para decidir si un área impactada merece: (a) Vigilancia ambiental; (b) Evaluación de la exposición; o (c) Intervención ambiental (restauración) (OPS 1999).

Algunas de las ventajas que presenta la utilización de ésta metodología son:

- Registro gubernamental de los sitios contaminados.
- Identificación de los sitios que requieren atención prioritaria.
- Desarrollo de protocolos de investigación para generar propuestas de limpieza.
- Establecimiento de programas de salud pública.
- Utilización más adecuada de los recursos económicos destinados a la atención de los problemas ambientales y de salud pública.

En América, existen dos propuestas principales para realizar la Evaluación del Riesgo de un Sitio Contaminado: a) la planteada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA 1989, EPA 1992) complementada con la metodología diseñada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (ATSDR 2004) y b) la metodología planteada por la organización Panamericana de la Salud OPS (OPS 1999).

El proceso EPA-ATSDR involucra el uso y manejo de una gran cantidad de información acerca de las condiciones ambientales que imperan en un sitio específico, además requiere datos estadísticos muy detallados referentes a las condiciones de salud de las poblaciones cercanas; la generación de esa información cuesta millones de dólares anuales a éstas dependencias y a pesar de ello, el proceso no puede dejar de lado la incertidumbre que persiste a lo largo de su ejecución

La establecida por la OPS, toma los principales elementos de las metodologías de EPA y ATSDR e incluye un elemento más, la utilización de biomarcadores de exposición y/o efecto para minimizar la incertidumbre que se genera en el proceso de estimación de la exposición planteada por las metodologías anteriores (OPS 1999).

En dicha metodología una vez que se identifican los sitios más peligrosos, se propone una fase de inspección preliminar en busca de los contaminantes principales y la evaluación de la exposición a dichos compuestos; y finalmente, se establece la caracterización de los elementos de riesgo asociados a un sitio contaminado a fin de proporcionar la mejor herramienta de intervención para disminuir la posibilidad de un efecto adverso.



## **Objetivo General de las Fases:**

Estimación del Riesgo en Salud por exposición a compuestos orgánicos persistentes (COP'S) en sedimentos y suelo de comunidades rurales ribereñas del Grijalva de los Estados de Tabasco y Chiapas.

## **METODOLOGÍA:**

### **Fase 1: Evaluación de la utilización COP's en Comunidades Rurales**

La fase inicial de la presente plantea documentar en las comunidades ribereñas rurales del Grijalva seleccionadas donde hubo casos de Paludismo y Dengue la utilización de medidas de control químico usando pesticidas, por parte de las instituciones sanitarias o de manera individual en los escenarios planteados.

### **Fase 2: Niveles ambientales de COP's y Biomarcadores de Exposición**

Se estableció un programa de análisis de la exposición a COP's en suelos y sedimentos en las comunidades ribereñas del Grijalva en Chiapas y Tabasco.

Se tomaron 220 muestras de Suelo.

Se tomaron 220 muestras de Sedimentos.

### **Tratamiento de las muestras:**

Las muestras se mantendrán a 4°C hasta su análisis, por medio de cromatografía de gases en los que se realizará un rastreo y cuantificación de los siguientes compuestos:

a)  $\alpha,\beta,\gamma$ -Hexaclorociclohexano, b) Hexaclorobenzeno, c) Aldrin, d) Heptacloroepoxido, e) oxychlorano, f)  $\alpha,\gamma$ -clordano, g) Trans-nonaclor, h) cis-nonaclor, i) DDE, j) DDT y k) Mirex, además de 14 congéneres de Bifenilos policlorados (PCB) (IUPAC no. 28, 52, 99, 101, 105, 118, 128, 138, 153, 156, 170, 180, 183, 187).

Las muestras serán cuantificadas mediante un Cromatógrafo de gases HP 6890 acoplado con un espectrómetro de masas HP 5973, usando una columna HP5-MS de, 60 m x 0.25 mm ID, 0.25- $\mu$ m de diámetro interno y utilizando  $\alpha$ -Hexachlorociclohexane-C13, Endrin-C13 and PCB-141-C13 como estándares internos.

### **FASE 3: Evaluación de Riesgo en Salud Humana:**

Fase preliminar de Evaluación integrada de riesgo por la exposición a COP's en suelos y sedimentos en las comunidades ribereñas del Grijalva en Chiapas y Tabasco utilizando la metodología descrita por la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

El área se dividirá para su estudio en 3 módulos agrupados de acuerdo con las características descritas por las fases previas del proyecto.

#### **Evaluación de Riesgos.**

La evaluación del riesgo para la salud es un proceso cuya finalidad es la asignación de magnitudes y probabilidades de aparición de efectos adversos en una población como consecuencia del contacto con un sitio peligroso (OPS 1999), constituye un instrumento con los pasos necesarios para identificar, priorizar y caracterizar los sitios peligrosos, por lo que puede emplearse para decidir si un área impactada merece: (a) Vigilancia ambiental; (b) Evaluación de la exposición; o (c) Intervención ambiental (restauración) (OPS 1999).

Algunas de las ventajas que presenta la utilización de ésta metodología son:

- Registro gubernamental de los sitios contaminados.
- Identificación de los sitios que requieren atención prioritaria.
- Desarrollo de protocolos de investigación para generar propuestas de limpieza.
- Establecimiento de programas de salud pública.
- Utilización más adecuada de los recursos económicos destinados a los problemas ambientales y de salud pública.

En América, existen dos propuestas principales para realizar la Evaluación del Riesgo de un Sitio Contaminado: a) la planteada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA 1989, EPA 1992) complementada con la metodología diseñada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) (ATSDR 2004) y b) la metodología planteada por la organización Panamericana de la Salud OPS.

La propuesta de EPA-ATSDR es muy importante, debido a que de esta metodología derivan los otros diseños de evaluación de riesgo utilizados en América; ambas son dependencias gubernamentales de Estados Unidos; mientras la EPA calcula la probabilidad de encontrar un efecto adverso en la salud de una población basándose sólo en los datos de la concentración de los contaminantes presentes en el ambiente, la metodología de ATSDR evalúa el riesgo en salud con aquellos datos ambientales generados por EPA y con los antecedentes en salud registrados en el área de influencia del sitio, el propósito final de ambas dependencias es proveer información a los gobiernos responsables para que puedan tomar la mejor decisión a fin de proteger el ambiente y la salud humana.

Esta misma propuesta fue recientemente utilizada por el gobierno de Brasil como parte de su programa de gestión ambiental de sitios contaminados, la metodología busca la protección de lo que denominan “Bienes a Proteger” propósito para el cual se desarrolló un sistema de Identificación y Evaluación Preliminar de Sitios Contaminados (CETESB-GTZ 1999); el sistema se enfoca principalmente al impacto de la contaminación sobre el suelo y las posibles consecuencias derivadas del transporte hacia otros medios ambientales. El proceso completo está basado en este sistema de registro y todas las actividades desarrolladas en un sitio contaminado específico deben ser consideradas.

La clasificación de ese sitio en particular cambia conforme se realizan actividades de limpieza, el procedimiento está constituido por dos fases principales:

- Identificación de las áreas contaminadas.
- Recuperación de áreas contaminadas.

La identificación de los sitios contaminados en esta propuesta está en función de la información existente en cada uno, clasificándolos como Áreas Potencialmente Contaminadas (AP), Áreas donde se Sospecha Contaminación (AS) y Áreas Contaminadas (AC); las informaciones obtenidas se almacenan en una base de datos o registro electrónico donde se puede modificar la calificación de un sitio a medida que se cuenta con más información sobre el área específica (CETESB-GTZ 1999).

Las subsecuentes etapas desarrolladas en el esquema de evaluación Brasil-GTZ se derivan principalmente de las propuestas elaboradas por EPA y ATSR para el estudio de sitios impactados. En su propuesta, el gobierno es el responsable de llevar a cabo la identificación de

los sitios, proponer las acciones de remediación y finalmente busca que los responsables de la contaminación realicen las acciones de limpieza.

La segunda propuesta en América, la establecida por la Organización Panamericana de la Salud (OPS)—al igual que Brasil— toma los principales elementos de las metodologías de EPA y ATSDR e incluye un elemento más, la utilización de biomarcadores de exposición y efecto para minimizar la incertidumbre que se genera en el proceso de estimación de la exposición planteada por las metodologías anteriores (OPS 1999).

En la metodología, OPS establece las etapas necesarias para identificar los sitios peligrosos, así como los principales criterios para priorizar dichas áreas de acuerdo a su peligrosidad para las poblaciones humanas; una vez que se identifican los sitios más peligrosos, se propone una fase de inspección preliminar en busca de los contaminantes principales y la evaluación de la exposición a dichos compuestos; finalmente, en la última parte de la metodología OPS, se establece la caracterización de los elementos de riesgo asociados a un sitio contaminado a fin de proporcionar la mejor herramienta de intervención para disminuir la posibilidad de un efecto adverso.

### **Modelación Probabilística en la Estimación del Riesgo.**

La siguiente inclusión a la metodología de evaluación de riesgo de la OPS, lo constituye la cuantificación de la variabilidad en el proceso de la estimación del riesgo, esta fase se realiza por medio de modelos matemáticos de estimación probabilística, ó como comúnmente se le conoce: Modelaje Probabilístico a través del análisis Monte Carlo.

La utilización del modelaje probabilístico permite no sólo conocer un intervalo de riesgo asociado a la exposición de un compuesto tóxico en un sitio contaminado; si no que, además sirve para estimar la proporción de la población que se encuentra sobre las condiciones de riesgo aceptables.

Además de la aplicación para estimar el riesgo en el escenario humano, el modelaje Monte Carlo también se propone para estimar el riesgo para los receptores ecológicos, en el proceso denominado “Evaluación del riesgo Ecológico”. El desarrollo de este trabajo permitió plantear la utilización del modelaje probabilístico en la evaluación conjunta de los riesgos en salud humana

y de los riesgos en los receptores ecológicos en la Propuesta Metodológica para la Evaluación Integrada de Riesgos Ambientales en Sitios Peligrosos de México; ésta metodología fue diseñada y se presenta como parte de los resultados en el Anexo 2 de este documento.

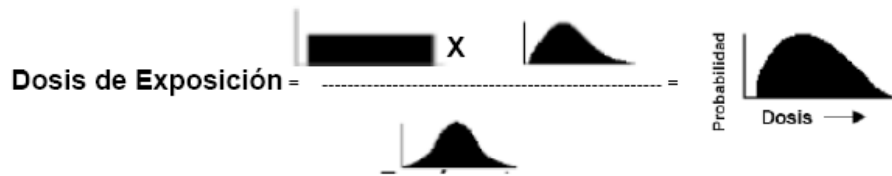
A continuación se describe el proceso de la estimación probabilística en la evaluación de riesgo; esto es en términos generales, un procedimiento que utiliza modelos matemáticos para representar la probabilidad de encontrar las diferentes dosis de exposición en una población con características específicas. La principal ventaja del método probabilístico es que provee una descripción cuantitativa del grado de variabilidad para los estimados de la dosis. El análisis cuantitativo de la variabilidad, proporciona más información de la exposición que cuando se realiza por medio de una estimación puntual (EPA 2001).

La estimación probabilística se realiza por medio de la técnica numérica de la simulación Monte Carlo (MC). La simulación MC es una técnica cuantitativa que hace uso de la probabilidad para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de fenómenos (procesos o eventos) reales. La clave consiste en crear un modelo global del proceso que se quiere analizar, identificando aquellas variables (parámetros) cuyo comportamiento aleatorio determina el comportamiento del fenómeno. Una vez identificados dichos parámetros o variables aleatorias, se lleva a cabo un ensayo que consiste en (1) generar (con ayuda de la computadora) muestras aleatorias (valores) para cada uno de los parámetros; y (2) analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir  $n$  veces el experimento, se dispone de  $n$  observaciones sobre el comportamiento del modelo, que serán de utilidad para entender el funcionamiento del mismo. El análisis será más preciso cuanto mayor sea el número de “ $n$ ” experimentos que se lleven a cabo, hay que mencionar que los programas computacionales permiten desarrollar un gran número de repeticiones (del orden de los miles de operaciones) lo que simplifica este proceso.

La ecuación general para calcular dosis de exposición es la siguiente.

$$\text{Dosis (mg / kg - día)} = \frac{\text{Conc} \times \text{TI}}{\text{PC}} \times \text{FE}$$

Usando el método probabilístico, cada parámetro de la ecuación estará definido como variables aleatorias con una distribución probabilística. La Figura 1 esquematiza el cálculo de la dosis de exposición utilizando Monte Carlo.



**Figura 1.** Estimación Probabilística de la Dosis de Exposición.

La etapa fundamental en este método es identificar las distribuciones probabilísticas que definen cada variable en las ecuaciones (parámetros como la concentración del contaminante, ingesta, peso corporal, etc.).

Al llegar a este punto de la metodología ya se realizaron los análisis ambientales; por lo que se cuentan con algunos datos sobre la concentración de los contaminantes del sitio estudiado; y posiblemente en este momento también se genere información adicional acerca de la biodisponibilidad. Utilizando los datos obtenidos, se busca la distribución probabilística que mejor los ajuste (Log-Normal, Exponencial, Normal, etc.).

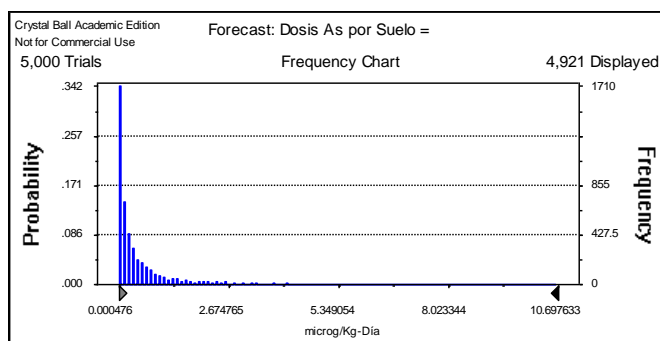
Como ya se señaló, la simulación Monte Carlo se realiza por medio de programas computacionales, actualmente existen diversos paquetes comerciales que facilitan el proceso (Crystal Ball, @RISK, DLP, Risk Software). Cualquiera que se utilice deberá contar con un procedimiento para ajustar los valores a las diferentes distribuciones probabilísticas, en caso de que el software no cuente con esta opción, se puede auxiliar con distintos programas de análisis estadísticos para esta finalidad.

En cuanto a las tasas de ingesta, el peso corporal de los individuos y las otras consideraciones de la exposición, deben medirse directamente en la población de estudio; o bien, se puede hacer uso de los valores citados en la literatura científica o en diversos manuales, ejemplo: el

Manual de Factores de Exposición de la EPA (EPA 2002, EPA 1997). Este manual, resume la información sobre el comportamiento humano y las características que afectan su exposición a los contaminantes ambientales indicando intervalos de valores que se pueden considerar para estimar la dosis de exposición.

Una vez que se han definido todos los parámetros de las ecuaciones, se procede a realizar la primera iteración del modelo. Una iteración representa una combinación específica de valores de cada parámetro, realizar n veces la iteración se denomina modelar o dicho en otras palabras, construir la simulación por Monte Carlo.

El método Probabilístico genera un intervalo de valores expresado como una Distribución de Probabilidad (en este caso de la dosis de exposición) como se muestra en un caso hipotético representado en la Figura 2. En el gráfico, el eje y representa la probabilidad y la frecuencia de ocurrencia de una dosis de exposición específica (en  $\mu\text{g}/\text{kg}\text{-día}$ ) para una población de características definidas; mientras que en el eje X se muestra el intervalo de los valores de la dosis de exposición; el gráfico se tomó tal y como se expresa en el programa Crystall Ball V 5.0.



**Figura 2.** Resultado Hipotético que muestra la Distribución Probabilística para estimar la dosis de exposición humana a Arsénico por contacto con un sitio contaminado;

Como se puede observar en la Figura 2, las dosis estimadas de la exposición humana a Arsénico proveniente del suelo para este ejemplo está entre 0.00047 – 10.69  $\mu\text{g}/\text{kg}\text{-día}$ .



Nota: Debido a la escala en la que están trazados los valores, la Figura 2 parece indicar que no hay una probabilidad de alcanzar la máxima exposición; sin embargo, el programa expresa sólo aquellos valores resultantes para los que existe una probabilidad asociada aunque ésta sea pequeña.

No todas las evaluaciones requieren la caracterización cuantitativa de la variabilidad utilizando Monte Carlo, por ejemplo, esto puede no ser necesario cuando los valores de un contaminante muestran claramente que la exposición o el riesgo está debajo de los niveles no aceptables. En otro ejemplo, el análisis probabilístico resultaría de poca utilidad cuando los costos de remediación resultan relativamente bajos.

## **PRODUCTO A ENTREGAR**

- Evaluación integrada de riesgo por la exposición a COP's en suelos y sedimentos en las comunidades ribereñas del Grijalva en Chiapas y Tabasco; 70% de Avance.

## Referencias:

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); 1998, Toxicological profile for CHLORINATED DIBENZO-p-DIOXINS. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); 2000, Toxicological profile for POLYCHLORINATED BIPHENYLS (PCBs). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); 2002, Toxicological profile for DDT, DDE, and DDD. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR); 2004. Public Health Assessment Guidance Manual. Public Health Service, or the U.S. Department of Health and Human Services. Accesado 2006; <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/HAGM.bak/disclaimer.html>

Alegria H, Bidleman TF, Figueroa MS. Organochlorine pesticides in the ambient air of Chiapas, Mexico. *Environ Pollut.* 2006 Apr;140(3):483-91. Epub 2005 Oct 3

Díaz-González G., Botello, A. y Ponce-Velez, G. 1994. Contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) disueltos en la laguna Mecoacán, Tabasco, México. *Hidrobiológico* 4: 21-27.

EPA 1989. Risk Assessment Guidance For Superfund Volume I. Human Health Evaluation (Part A). U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, D.C. EPA/540/1-89/002. December.

EPA 1992. Guidelines For Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, Dc, 600z-92/001

Gold-Bouchot G., Zavala-Coral, M., Zapata Pérez, O. y Ceja Moreno, V. 1997. Hydrocarbon concentration in oysters (*Crassostrea virginica*) and recent sediments from three coastal lagoons in Tabasco, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 59: 430-437.

Koepke R, Warner M, Petreas M, Cabria A, Danis R, Hernandez-Avila M, Eskenazi B. Serum DDT and DDE levels in pregnant women of Chiapas, Mexico. *Arch Environ Health.* 2004 Nov; 59(11):559-65.

Noreña-Barroso E, Gold-Bouchot G, Ceja-Moreno V. Temporal variation of persistent organic pollutant (POP) residue concentrations in sediments from the bay of Chetumal, Mexico *Bull Environ Contam Toxicol.* 2007 Aug;79 (2):141-6. Epub 2007 Jul 25.

OPS. 1999. Metodología de Identificación y evaluación de riesgos para la salud en sitios contaminados. Organización Panamericana de la Salud. OPS/Cepis/Pub/99.34.

Orris P, Chary LK, Perry K, Asbury J (2000) Persistent Organic Pollutants (POPs) and Human Health. A Publication of the World Federation of Public Health Associations. Persistent Organic Pollutants Project. 1 – 45.

Ritter L.; K.R. Solomon; J. Forget. 1995. Contaminantes orgánicos persistentes. Informe sobre: aldrín, dieldrín, endrín, clordano, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno, BPCs, dioxinas y furanos. Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas de las Naciones Unidas.

Rodríguez AD, Penilla RP, Rodríguez MH, Hemingway J, Trejo A, Hernández-Avila JE. Acceptability and perceived side effects of insecticide indoor residual spraying under different resistance management strategies. *Salud Publica Mex.* 2006 Jul-Aug; 48(4):317-24. Links

SEMARNAT, 2007; Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; México Distrito Federal; Estados Unidos Mexicanos.

UNEP 2002. Persistent Organic Pollutants: An Assessment Report on DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins, and Furans, International Programme on Chemical Safety, Dec. 1995, RIDDING THE WORLD OF POPS: A GUIDE TO THE STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS.