

Aceptado para Publicar en Scientiae Naturae (2002)

# EVALUACIÓN INTEGRAL DEL RIESGO EN SITIOS CONTAMINADOS (UNA PROPUESTA METODOLÓGICA)



Jesús Mejía, Leticia Yáñez, Leticia Carrizales  
y Fernando Díaz-Barriga

**Laboratorio de Toxicología Ambiental**

Facultad de Medicina

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Correspondencia:

**Fernando Díaz-Barriga,**

Laboratorio de Toxicología Ambiental,

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Avenida Venustiano Carranza No. 2405, Col. Lomas los Filtros, CP 78210,

San Luis Potosi, SLP, México

Teléfono y Fax : (52-48) 262 - 354

Correo electrónico : [fdia@prodigy.net.mx](mailto:fdia@prodigy.net.mx)



Visita la página de la  
**Agenda Ambiental**  
de la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

<http://ambiental.uaslp.mx/>

URL de este documento:

<http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDB-EvalRiesgo.pdf>

## ÍNDICE

1.	PRESENTACIÓN .....	1
2.	DESCRIPCIÓN DEL SITIO .....	2
2.1.	Formulación del Problema .....	2
2.2.	Datos del Sitio.....	2
2.3.	Visita al Sitio .....	2
2.4.	Identificación de los Contaminantes.....	3
2.5.	Identificación de las Rutas de Exposición.....	3
2.6.	Propuesta de un Modelo Conceptual del Sitio .....	3
3.	ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL .....	4
3.1.	Plan de Muestreo .....	4
3.2.	Programas Analíticos .....	5
3.3.	Toxicidad de los Contaminantes.....	5
3.4.	Comportamiento Ambiental de los Contaminantes.....	6
3.5.	Selección de los Contaminantes Críticos .....	6
3.6.	Revisión del Modelo Conceptual del Sitio .....	6
4.	VALORACIÓN DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS.....	6
4.1.	Análisis Preliminar de los Componentes Bióticos del Sitio .....	7
4.2.	Índice de Toxicidad Ambiental .....	7
4.3.	Índice de Integridad Biótica .....	8
4.4.	Datos Complementarios del Sitio .....	8
4.5.	Estudio de Especies Nativas .....	9
4.6.	Biomarcadores de Exposición .....	9
4.7.	Efectos Biológicos.....	9
4.8.	Revisión del Modelo Conceptual del Sitio .....	10
5.	VALORACIÓN DE LOS COMPONENTES HUMANOS .....	10
5.1.	Selección de la Población en Riesgo .....	10
5.2.	Análisis de la Exposición .....	10
5.3.	Análisis de los Efectos Biológicos .....	11
5.4.	Estadísticas de Salud del Sitio.....	11
5.5.	Revisión del Modelo Conceptual del Sitio .....	12
6.	CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO .....	12
6.1.	Análisis de la Contaminación Ambiental.....	13
6.2.	Valoración de los Componentes Bióticos.....	13
6.3.	Valoración del Componente Humano.....	13
6.4.	Análisis Integral del Riesgo.....	13
	Agradecimientos.....	14
	Referencias.....	14

---

## 1. PRESENTACIÓN

La evaluación del riesgo es un proceso que tiene como objetivo asignar magnitudes y probabilidades a los efectos adversos de la contaminación. En consecuencia, un instrumento que puede utilizarse para definir si un sitio contaminado merece ser intervenido ambientalmente, es el análisis del riesgo en salud. Con este instrumento puede establecerse si el grado de contaminación presente en un sitio, genera efectos nocivos. Entre mayor sea el riesgo de que la contaminación afecte a los seres vivos, mayor será la necesidad de instrumentar programas de restauración.

En este punto, es útil establecer que en cada lugar contaminado se busca la protección tanto de los seres humanos, como de los organismos de la biota (plantas y animales). Inclusive en algunos sitios impactados por residuos peligrosos, como el caso de tres sitios contaminados con dioxinas, se ha demostrado daño marginal en la población humana pero devastación completa en especies animales como conejos, ratones, etc. En estos casos, los efectos sobre la biota han justificado la restauración.

Por lo señalado en los párrafos anteriores, nuestro grupo propone la evaluación del riesgo, como el instrumento definitorio para establecer si un sitio merece ser incluido en un programa de limpieza ambiental. Además, con el objetivo de disminuir las incertidumbres al máximo, la propuesta incluye el establecimiento de una metodología de "Evaluación Integral del Riesgo". Es decir, se propone un método de estudio que incluya los tópicos más relevantes de la "Evaluación del Riesgo en Salud" (enfocada para humanos) y de la "Evaluación del Riesgo Ecológico" (diseñada para el estudio de los organismos de la biota). La evaluación integrada del riesgo tiene como objetivo definir si el nivel de contaminación presente en un sitio afecta o podría afectar a los seres humanos y/o a los organismos de la biota. En el entendido de que los seres de dicha población estuviesen expuestos al contaminante y que éste fuese biodisponible.

El esquema que se propone en el presente documento no pretende conjuntar las metodologías ya descritas, debido a que de seguir ese camino, hubiéramos terminado con una metodología larga, complicada y costosa. Por el contrario, para el diseño del método integral solamente hemos tomado los puntos clave de ambas. Es decir, este esfuerzo integrado debe ser considerado como una propuesta diferente y no, como un sustituto de las metodologías ya descritas.

Sobre "Evaluación del Riesgo en Salud", consultamos en especial dos metodologías. La descrita por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos (ATSDR) y la desarrollada por nuestro grupo, en colaboración con investigadores de la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Sobre "Evaluación del Riesgo Ecológico" consultamos los numerosos textos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). En la sección bibliográfica presentamos los textos que fueron consultados. En la Tabla 1 se presenta el esquema para la evaluación integral de riesgo que estamos proponiendo.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

El primer objetivo de un investigador es conocer el sitio que se va a valorar. Por ello, a continuación se presentan los pasos que se podrían seguir para lograr tal fin.

### 2.1. Formulación del Problema

Esta sección tiene como objetivo que el investigador exponga un escenario inicial del problema, con base en la información que motivó el estudio del sitio. Dicha información podría ser de utilidad para contestar varias preguntas; entre otras: ¿Por qué el sitio va a ser evaluado? ¿Cuál es el origen de la contaminación? ¿Desde cuándo existe la contaminación en el sitio? ¿La contaminación ha sido siempre la misma? ¿Los contaminantes pueden afectar a varios medios del ambiente? ¿Ha ocurrido exposición de los componentes de la biota o de los seres humanos a los contaminantes? ¿Existen quejas de la población? ¿El sitio ya ha sido estudiado?. Las razones iniciales que pueden motivar un estudio pueden ser, cambios en el ambiente (derrames de sustancias químicas, acidificación de lagos, etc.); efectos sobre seres humanos (incremento en la frecuencia de alguna enfermedad, etc.), o algún evento sobre la biota como la muerte de peces, muerte de aves o la disminución de especies.

### 2.2. Datos del Sitio

La siguiente es una lista de los datos que son necesarios para tener una identidad del sitio: nombre para su identificación, ubicación, delimitación del área en estudio, actividades que se desempeñan en el sitio (industriales, comerciales, agropecuarias, recreativas, etc.), usos del suelo pasados, presentes y futuros (zona industrial, residencial, comercial, recreativa, agrícola, etc.), información demográfica, información cuando la hubiere sobre flora y fauna, datos geográficos (tipo de terreno, tipo de suelo, cubierta del suelo, fuente de agua potable, cuerpos de agua, localización de viviendas, etc.), datos meteorológicos relevantes (épocas de lluvia y estiaje, cantidad de lluvia, temperatura promedio a lo largo del año, dirección de vientos, etc.). La información se completará con fotos aéreas, mapas y sistemas de información geográfica cuando estuvieren disponibles.

### 2.3. Visita al Sitio

Además de corroborar y/o complementar la información sobre los puntos anteriores, la visita al sitio tiene dos objetivos más: obtener información sobre las preocupaciones de la comunidad con respecto a la situación ambiental de su entorno y determinar de una manera preliminar, las rutas de exposición de mayor importancia. La interacción con la comunidad es clave para el buen desarrollo del estudio. Los miembros de la comunidad afectada deben estar enterados de los trabajos que se realizarán en el sitio. Para ello, deberán buscarse las mejores estrategias de comunicación de riesgo; incluyendo desde luego, la honestidad y el uso de un lenguaje claro y franco. El evaluador debe establecer un listado de las preocupaciones comunitarias relacionadas con el sitio, en materia de contaminación, salud y estrategias de limpieza.

## 2.4. Identificación de los Contaminantes

Para la mayoría de los sitios, es poco probable que exista este tipo de información; sin embargo, en caso de que la hubiere, es de suma importancia que la fuente de información incluya datos sobre control de calidad. En caso de no contarse con estos datos, será suficiente que el evaluador exponga el tipo de contaminantes de acuerdo al tipo de sitio en estudio, por ejemplo: metales en un sitio minero; plaguicidas en áreas cercanas a campos agrícolas; o compuestos orgánicos en ríos gradiente abajo de una zona industrial.

## 2.5. Identificación de las Rutas de Exposición

Tomando en cuenta a los contaminantes o a las familias de los contaminantes, que hubieren sido identificados, durante la visita al sitio el evaluador deberá verificar:

- todas las fuentes contaminantes de todos los contaminantes;
- los medios ambientales que pudieran estar contaminados (podría apreciar derrames, olores, etc.);
- los puntos de exposición de mayor riesgo (áreas recreacionales en centros escolares, pozos, manglares, etc.);
- las vías de exposición más probables (ingestión, inhalación, contacto directo, respiración de agua, ingesta de lixiviados, limpieza oral de plumaje, absorción vía raíz etc.); y
- la población de alto riesgo que sería la receptora de los contaminantes (humana y organismos de la biota).

Si el evaluador logra determinar las rutas de exposición durante la visita, el análisis de contaminación tendrá mayor éxito y por ende, el estudio adquirirá la calidad requerida para definir el riesgo. En algunas ocasiones la fuente, no siempre puede definirse, por ejemplo, en casos de impacto de cuerpos de agua por lluvia ácida. No obstante lo anterior, el estudio debe continuar y en todo caso, en la sección última del reporte deberá exponerse la necesidad de identificar a la fuente para una mejor caracterización del sitio.

## 2.6. Propuesta de un Modelo Conceptual del Sitio

Con toda la información recopilada y después de su análisis, el investigador tendrá que establecer un modelo conceptual del sitio. El modelo deberá incluir la descripción de las rutas de exposición de mayor importancia, identificando para cada una, a la población receptora, tanto humana como biótica. Además, deberá señalarse la posibilidad de que los contaminantes hayan migrado de un ambiente a otro y afuera de los límites acordados para el estudio. En este momento puede darse una primera aproximación de los marcadores que pudieran emplearse para valorar el riesgo ecológico y de las poblaciones humanas en mayor riesgo. Podrán discutirse algunas incertidumbres,

pero siempre serán sesgadas a sobreestimar el riesgo, a fin de evitar el que una interpretación errónea impida la continuación del estudio. La descripción del modelo conceptual deberá acompañarse de una figura que ilustre la problemática identificada durante la visita al sitio.

### 3. ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

#### 3.1. Plan de Muestreo

El plan del muestreo ambiental debe contestar las siguientes preguntas: ¿Cuál matriz se va a analizar? ¿En cuál sitio se va a efectuar el muestreo?, ¿Tipo de muestra que se va a coleccionar?, ¿Cuándo se realizará la colecta?, ¿Frecuencia del muestreo?, ¿Cómo se tomarán las muestras?, ¿Cuidados de Transporte?, ¿Cuál programa de control de calidad se aplicará?

Las matrices pueden ser agua, suelo, sedimento, polvo, alimentos, aire, partículas suspendidas, hojas, etc. Serán seleccionadas aquellas matrices que más interesen de acuerdo al contaminante en cuestión. Por ejemplo, en una zona palúdica, el contaminante de interés sería el DDT y considerando sus características fisicoquímicas, el suelo, el sedimento y las hojas del follaje (que fijarían el DDT volatilizado), podrían ser las matrices de mayor interés. Para aquellos lugares donde ya se aplica deltametrina, quizá el polvo doméstico y el suelo serían las matrices más importantes. Conclusión, las características del contaminante definirán las matrices. Adicionalmente, es fundamental el considerar las rutas de exposición. Por ejemplo, podría darse el caso de que una matriz seleccionada por las características fisicoquímicas del contaminante, no fuese parte de una ruta de exposición, por lo cual, dicha matriz podría ser descartada para el muestreo. Debe advertirse que en esta metodología integrada, los organismos de la biota (como serían los peces), se consideran organismos receptores y no, solamente parte de la cadena alimenticia del hombre.

Los sitios de muestreo de mayor importancia son los puntos de exposición de las rutas previamente identificadas. Además, hay que muestrear áreas no contaminadas a fin de obtener los valores basales. Algún estudio podría tener como objetivo el conocer la extensión de la mancha contaminante, en tal caso, el diseño del muestreo debe considerar un modelaje estadístico, donde el número de muestras y el punto de muestreo estarán dictados por la precisión definida por el propio investigador.

El tipo de muestra, por ejemplo suelo superficial vs suelo profundo, será determinado de acuerdo a los objetivos del trabajo. Para un organismo de la biota en especial, quizá las muestras de suelo profundo sean tan o más importantes que las muestras de suelo superficial. Para los niños en cambio, son de mayor importancia las muestras superficiales. En consecuencia, para definir el tipo de muestra debe analizarse con cuidado y siguiendo al modelo conceptual del sitio que se haya planteado.

El momento del muestreo será determinado inicialmente por el tipo de matriz; por ejemplo, un acuífero requiere ser monitoreado cuando menos de tres a cuatro veces por año. En otras

ocasiones, la frecuencia y el momento preciso del muestreo estarían dictados por otro tipo de actividades. Así, en las zonas palúdicas, el muestreo podría estar definido por la época de aplicación de los insecticidas y la frecuencia debería basarse en los parámetros de degradación del insecticida aplicado. En cualquier caso, el diseño considerará la época de máxima exposición; es decir, el momento en el tiempo donde sea más probable el contacto del contaminante con los seres vivos.

El muestreo deberá realizarse en condiciones adecuadas. El investigador debe conocer el material requerido para la toma y el almacén de las muestras, según la matriz a muestrear y de acuerdo al contaminante. En consecuencia, se tendrán que consultar los textos en materia de química analítica ambiental. Atención especial merece la limpieza de los contenedores empleados en los muestreos, a fin de evitar falsos positivos. El transporte de las muestras del sitio al laboratorio debe realizarse de acuerdo a los estándares de seguridad más indicados. Deben evitarse pérdidas por volatilidad o degradación. En algunos casos se aconseja el empleo de fijadores, de antimicrobianos y la baja temperatura. Cada tipo de contaminante requiere un trato particular. El control de calidad inicia al momento del muestreo. El investigador deberá analizar la pertinencia de obtener, al momento de la colecta, blancos de campo y/o muestras fortificadas. Por otro lado, es una costumbre recomendable que todo el proceso del plan de muestreo sea valorado de manera previa por un comité evaluador externo, constituido por entendidos en la materia.

### **3.2. Programas Analíticos**

Los laboratorios cuentan en la actualidad con un gran número de técnicas analíticas, tanto para la detección de contaminantes inorgánicos como orgánicos. El investigador debe contemplar realizar los análisis con los métodos que mejor respondan en cuanto a límites de detección, precisión y reproducibilidad. A fin de garantizar los datos que se generen, habrá que aplicar los programas de control de calidad más adecuados. Incluyendo el análisis de matrices certificadas cuando ello fuese factible. Los resultados deberán expresarse en tablas con valores promedio, rangos y frecuencia de muestras con niveles por arriba de los valores de referencia que hubieren sido seleccionados.

### **3.3. Toxicidad de los Contaminantes**

Una vez con la lista de contaminantes detectados, el investigador realizará una búsqueda bibliográfica detallada y actualizada sobre el potencial tóxico de los compuestos. La información debe incluir datos sobre toxicidad aguda y crónica, tanto en humanos, como en biota (ecotoxicidad) e incluyendo aquella generada a nivel experimental. Debe prestarse atención a los tipos de efectos generados, las dosis a las cuales dichos efectos fueron registrados y las vías de exposición estudiadas (inhalación, dérmica, ingesta, etc.). Como un punto aparte, el investigador tendrá que realizar todos los esfuerzos para recopilar información sobre los antecedentes de biodisponibilidad en las diferentes matrices.

### **3.4. Comportamiento Ambiental de los Contaminantes**

Otro tipo de información que debe ser recopilada por los investigadores, es aquella que permite definir el comportamiento ambiental de los compuestos identificados como contaminantes. Por ejemplo, deben conocerse propiedades como: solubilidad en agua (Kow), volatilidad (constante de la Ley de Henry), persistencia, afinidad por suelos (Koc) y sedimentos (Koc), factor de bioconcentración, etc. Con estos datos, puede inferirse la capacidad de los compuestos para transportarse de un medio del ambiente a otro.

### **3.5. Selección de los Contaminantes Críticos**

Con la lista de los contaminantes identificados, habrá de establecerse una priorización de ellos, a fin de valorar solamente a los contaminantes que realmente representan un riesgo para el sitio en estudio. Entre los factores que deben ser tomados en cuenta para dicha clasificación están: (A) la comparación entre las concentraciones ambientales y los valores de referencia que hubieren sido elegidos para tal fin (normas, guías ambientales, valores basales, incluyendo valores de ecotoxicológicos, etc.); (B) frecuencia de localización en los puntos de exposición; (C) preocupación de la comunidad por el contaminante; (D) factor de bioconcentración; (E) capacidad de biomagnificación; (F) persistencia ambiental; (G) características toxicológicas; (H) presencia del contaminante en todos los medios; (I) otras que el investigador considere importantes.

### **3.6. Revisión del Modelo Conceptual del Sitio**

En este punto, el investigador contará con datos suficientes para revisar y actualizar el modelo conceptual del sitio. Podrá identificar las rutas de exposición de mayor importancia y habrá determinado una lista de los contaminantes críticos. Es decir, de aquellos compuestos que por su concentración ambiental y por otras características, representan un riesgo para la población humana y/o para los organismos de la biota.

## **4. VALORACIÓN DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS**

Uno de los pilares de la evaluación integral del riesgo en un sitio contaminado, es la valoración de sus componentes bióticos. En la presente metodología, esta valoración no tiene el detalle que se requiere para una completa evaluación del riesgo ecológico. Lo que proponemos es un análisis preliminar, y solamente en caso de encontrar alteraciones en la biota, podría entonces justificarse una evaluación más completa. Al lector interesado en trabajos detallados, se le invita a revisar los textos en la materia, algunos de los cuales se presentan en la sección bibliográfica.

Por componentes bióticos entendemos a los organismos individuales, a las poblaciones (grupo de organismos), a las comunidades (grupo de poblaciones que interactúan entre sí), a los ecosistemas (grupo de comunidades en conjunto con sus ambientes físico y químico), y a las regiones (grupos de ecosistemas en un espacio delimitado).



En el método que proponemos, la valoración inicia con un análisis preliminar de los componentes bióticos. Posteriormente se genera un índice de toxicidad ambiental, de aquellas matrices y en aquellos puntos, que mayor riesgo representarían para la biota. Enseguida se trabaja con un índice de integridad biótica que realmente nos proporciona un esquema de la salud del ecosistema en el sitio. Finalmente, se realiza un estudio con las especies nativas. A continuación se explica cada una de estas fases.

#### **4.1. Análisis Preliminar de los Componentes Bióticos del Sitio**

El evaluador debe generar un esquema global de la biota del sitio. Es obvio que un sitio minero establecido en una zona árida, cuenta con un ecosistema diferente a un depósito de agroquímicos en plena área tropical. El investigador responsable de la evaluación integral del riesgo, deberá ser asesorado por ecólogos, los cuales centrarán su atención en primer término en los componentes de las principales cadenas tróficas. Se deben analizar a los componentes acuáticos y terrestres, incluyendo plantas y animales. No obstante, deberán incluir en su análisis a otros organismos que pudieran ser igualmente importantes. En este momento es muy importante definir algunos factores confundentes que también podrían estar afectando a los componentes de la biota, entre otros: sobrepesca, limitantes nutricionales, cambios climáticos, alteraciones fisicoquímicas como la acidez o el contenido de oxígeno, etc. El análisis debe tener en mente la siguiente pregunta: ¿Existe un riesgo ecológico?

#### **4.2. Índice de Toxicidad Ambiental**

La presencia del contaminante en un sitio, no es siempre sinónimo de riesgo. Por ejemplo, el factor biodisponibilidad puede modificar el comportamiento toxicológico de los compuestos. Una pobre biodisponibilidad redundaría en una absorción disminuída. Adicionalmente, la toxicidad también puede ser reducida por una inducción de los mecanismos de defensa de los organismos. Así por ejemplo, un organismo de un sitio contaminado podría haberse habituado a los contaminantes a través de mecanismos que excretan contaminantes del interior celular.

Una alternativa para analizar la biodisponibilidad y/o la toxicidad de los contaminantes es el empleo de bioensayos. En ellos, se utilizan organismos silvestres o cultivados en el laboratorio, los cuales son puestos en contacto con las matrices colectadas en el sitio. Múltiples variantes existen en los bioensayos, pero en todos los casos, el tipo de prueba que sea elegida deberá ser la adecuada para la matriz que se vaya a analizar. Además, deberán emplearse más de un tipo de bioensayo ya que no todos responden de la misma manera a todos los contaminantes. Un resultado positivo es indicativo de riesgo, pero ante un resultado negativo de los bioensayos, el investigador se abstendrá de sacar conclusiones. Debe quedar claro que los efectos ecológicos no pueden interpretarse solamente tomando en cuenta los datos obtenidos en los bioensayos. Los bioensayos son complementarios y su extrapolación a otros organismos de la biota deberá asumirse con sumo cuidado.

En los bioensayos, la bioacumulación de los contaminantes puede dar una medida de la biodisponibilidad. Además, la toxicidad puede ser medida en pruebas de toxicidad aguda (por ejemplo dosis letales 50) o mediante evaluaciones bioquímicas (por ejemplo actividad de enzimas), genéticas (aberraciones cromosómicas, ensayo cometa, etc.) u otras. En los bioensayos siempre es útil introducir un control positivo (con algún compuesto que haya demostrado ser efectivo en la prueba seleccionada), y un control del o los contaminantes (empleando varias dosis). Ahora bien, debe quedar claro que el resultado de la toxicidad de una matriz ambiental (por ejemplo, suelo), será resultado de la interacción toxicológica de todos los componentes (orgánicos e inorgánicos) de dicha matriz. Es decir será el resultado de la actividad de una mezcla química.

La descripción del sitio y el análisis de la contaminación ambiental, nos permite definir las matrices mas contaminadas y los puntos de exposición de mayor relevancia para los organismos de la biota. De estas matrices y de estos puntos serán colectadas las muestras a utilizarse en los bioensayos. Los datos además deberán ser comparados contra matrices basales, es decir contra muestras colectadas en puntos no contaminados.

#### **4.3. Índice de Integridad Biótica**

Un índice es un calificativo. En consecuencia, un índice de integridad biótica, es un calificativo de las condiciones de la biota en un sitio contaminado. La construcción del índice debe tomar en cuenta a los principales organismos, a las poblaciones, a las comunidades y a los ecosistemas, de acuerdo al análisis preliminar que se haya realizado. La integridad biótica debe medirse en el sitio y se tendrá que comparar contra un área semejante pero no impactada por los contaminantes. Algunos ejemplos:

- A nivel organismo individual: muerte, crecimiento, fecundidad, alteraciones macroscópicas, concentración tisular, comportamiento, tumores, etc.
- A nivel población: presencia de organismos, abundancia, relación edad/tamaño, morbilidad, mortalidad, clorosis, etc.
- A nivel comunidad: número de especies, especie dominante, diversidad de especies, presencia de especies de plantas o animales que se asocian con estresores (nombre que se le da a factores que pueden modificar a los componentes de la biota), etc.
- A nivel ecosistema: biomasa, productividad, dinámica de nutrientes, etc.

#### **4.4. Datos Complementarios del Sitio**

Después del riguroso análisis científico, el investigador debe complementar su información mediante la recopilación de datos locales. Es decir, a través de entrevistas con habitantes del sitio. Algunas preguntas sobre animales malformados; sobre la cantidad de la pesca antes y después de la contaminación; sobre la aparición de algas; etc., podrían ser importantes para establecer un escenario más completo del sitio. La información subjetiva recogida mediante entrevista deberá ser

confirmada por algún otro medio (por ejemplo, colecta de ejemplares, archivos históricos, fotografías, etc.).

#### **4.5. Estudio de Especies Nativas**

En este documento definimos como un organismo centinela, a aquél organismo que por estar en contacto directo con los contaminantes, se califica como un ser vivo en alto riesgo. En consecuencia, al estudiarlo, se podrían definir parámetros toxicológicos y de biodisponibilidad de los contaminantes. Siete factores son muy importantes para seleccionar a los organismos centinelas:

- que el organismo sea nativo y representativo del sitio en estudio;
- que sea sedentario del sitio;
- que esté en contacto con la matriz ambiental más contaminada y en consecuencia, que sea receptor de una ruta de exposición;
- que existan antecedentes en este organismo sobre efectos biológicos generados por su exposición a los contaminantes detectados en el sitio;
- que sea de importancia para la sociedad;
- que sea de importancia para otros organismos -su muerte puede afectar a otros componentes de la biota-; y
- que esté disponible y accesible para su estudio.

Es obvio que no podrá ser seleccionado un organismo en peligro de extinción, aunque de ellos podrían tomarse muestras de sangre o de excretas. En los organismos seleccionados se estudiará la exposición y de ser posible, algunos efectos biológicos.

#### **4.6. Biomarcadores de Exposición**

En el organismo centinela se definirá la exposición mediante el análisis de biomarcadores. Esto es, a través de la medición del contenido del contaminante o de alguno de sus metabolitos en tejidos o excretas. Dicha cuantificación nos permite conocer no solamente el grado de exposición del organismo centinela, sino también, la biodisponibilidad del contaminante. En este punto resulta útil recordar que solamente se analizarían los contaminantes que hubieren sido considerados como críticos para el sitio (punto 3.5).

#### **4.7. Efectos Biológicos**

El análisis de efectos biológicos es útil para definir la capacidad tóxica de los contaminantes; por ejemplo, sirven para determinar que la concentración interna del contaminante o de sus

metabolitos ha superado el umbral de toxicidad. En consecuencia, los efectos biológicos seleccionados para el estudio, deberán ser los indicados para los contaminantes críticos.

Asimismo, el diseño de las investigaciones necesariamente tiene que contemplar el análisis de los factores confundentes. No obstante lo anterior, nos queda claro que la valoración de efectos biológicos es un punto complicado, ya que el análisis depende por un lado de los contaminantes detectados en el sitio y por el otro lado, del organismo centinela seleccionado. Existen contaminantes para los cuales no se han descrito pruebas o ensayos que sirvan para evaluar los efectos biológicos asociados con una exposición a ellos. Asimismo, puede darse el caso que para algún organismo centinela, no se hayan establecido los ensayos correspondientes. Los análisis histopatológicos y las pruebas bioquímicas siempre serán marcadores que pueden incluirse en un análisis sobre efectos biológicos.

#### **4.8. Revisión del Modelo Conceptual del Sitio**

Con la información de esta sección, el investigador podrá revisar su modelo en lo que respecta a los componentes bióticos.

## **5. VALORACIÓN DE LOS COMPONENTES HUMANOS**

El otro pilar de esta metodología es el grupo humano que pudiera estar expuesto a los contaminantes del sitio. En dicho grupo deben determinarse similares parámetros que los valorados en los componentes bióticos. Esto es, la exposición a los tóxicos contaminantes y los posibles efectos biológicos asociados a ellos.

#### **5.1. Selección de la Población en Riesgo**

Una población en riesgo es aquella que cuenta con dos características: es la de mayor exposición a los contaminantes y es la más susceptible a los efectos tóxicos de los contaminantes. Ejemplos de poblaciones en riesgo son: niños para plomo, varones adultos para flúor, mujeres en edad reproductiva para fetotóxicos, etc.

#### **5.2. Análisis de la Exposición**

La evaluación de la exposición implica la cuantificación de biomarcadores químicos con el objeto de certificar la absorción de los contaminantes en la población en riesgo. Un biomarcador por lo general es el propio contaminante o alguno de sus metabolitos, que puede ser cuantificado en tejidos (adiposo, pelo, placenta, etc.) y/o fluidos biológicos (sangre, semen, orina, etc.). Los biomarcadores indican exposición y absorción, pero además, algunos también pueden señalarnos efecto (ej. plomo en sangre) o carga corporal del metal (ej. cadmio en orina). Por lo anterior, en esta fase de la metodología se recomienda la evaluación de la exposición a través del análisis de

biomarcadores de exposición. No obstante, deben considerarse factores propios del individuo y factores propios del contaminante a fin de definir cual de los biomarcadores o cuales de los tejidos o fluidos están más relacionados con la exposición. Aunado a ello, siempre hay que tomar en cuenta factores toxicocinéticos del biomarcador (ej. cadmio en sangre es biomarcador de exposición reciente y cadmio en orina es biomarcador de exposición crónica). Resulta claro entonces que a la selección del biomarcador le debe preceder un ejercicio de análisis de la literatura a fin de seleccionar al indicador biológico más adecuado a los objetivos del estudio. Para este fin, los Perfiles Toxicológicos de la ATSDR resultan por demás adecuados. Otra fuente relevante de datos es la información distribuida por la Organización Mundial de la Salud. Aunado a los biomarcadores es recomendable levantar un cuestionario para reconocer la historia de la exposición y algunos factores confundentes (por ejemplo, exposición al plomo por la ingesta de alimento cocinado en barro vidriado). Es importante recordar que para los estudios de biomarcadores, deben colectarse muestras humanas. Por lo tanto, es requisito contar con la aprobación de un Comité de Bioética que revise los procedimientos que se planean seguir durante la colecta. Asimismo, en todos los casos, deberá solicitarse por escrito el consentimiento del donador (cuando sea un adulto) o del padre o tutor del donador (cuando la colecta se realice entre población infantil). En dicho consentimiento, quien autorice deberá tener conocimiento de los objetivos y alcances del estudio. Además, por ética, los estudios deberán ser voluntarios, anónimos y gratuitos, con el compromiso adicional de que tan pronto se obtengan los resultados en el laboratorio, los donadores conocerán los resultados de sus análisis y lo que significan para la salud del individuo.

### **5.3. Análisis de los Efectos Biológicos**

Al igual que para los componentes bióticos, podría ser importante establecer algunos efectos biológicos asociados con la toxicidad de los contaminantes críticos. Los condicionantes que se apuntaron para los organismos de la biota se aplican por igual a los estudios en humanos. Reiteramos sin embargo, la necesidad de incluir a factores confundentes. Pocos efectos biológicos son específicos y el análisis de los confusores es útil para reducir la incertidumbre de la inespecificidad. Los efectos biológicos que pueden ser evaluados potencialmente son muchos (actividades enzimáticas alteradas, daño al ADN, expresión de alguna proteína, enzimas que reflejen daños tisulares, etc.). Por lo tanto, aquellos efectos que sean seleccionados para el estudio, deberán contar con antecedentes científicos de estar asociados con la exposición al contaminante presente en el sitio. Es muy importante que el trabajo incluya el análisis de una población control, apareada con la población del sitio contaminado en cuanto a los confusores, pero sin la exposición al contaminante.

### **5.4. Estadísticas de Salud del Sitio**

El evaluador deberá analizar las fuentes de datos estadísticos, locales, estatales o nacionales, que sean relevantes para la zona de estudio. La discusión de los datos epidemiológicos se organizarán según su fuente informativa. Para cada fuente, el texto incluirá la siguiente información: (A)

Características de la Fuente .. En numerosos casos no se contará con antecedentes sobre la presencia de ciertos padecimientos en la zona que se está estudiando. En tales casos habrá que recurrir a fuentes de información local (médicos rurales, clínicas particulares, centros de salud, etc.). Siempre deberá establecerse en el informe del estudio, las características de la fuente informativa (años disponibles en la información obtenida, unidad geográfica mínima, calidad y confiabilidad de los datos obtenidos, etc.). Es muy importante hacer notar la relación entre la población expuesta y la unidad geográfica mínima analizada (por ejemplo, la población expuesta podría ser una comunidad de 1000 habitantes y la unidad geográfica mínima de la fuente informativa podría ser el Estado completo), este punto es trascendente ya que en muchas ocasiones las unidades geográficas no son aplicables para el sitio de interés. (B) Resultados .. Al presentarlos en el documento final deberán incluir los métodos de análisis (ej. promedios de mortalidad, etc.), sus limitaciones (ej. confiabilidad de los datos, efecto de la unidad geográfica en la interpretación de los datos, etc.), y sus implicaciones en salud pública. Además, el reporte de las estadísticas de salud más relevantes, podría ser de utilidad para contestar algunas de las interrogantes de la comunidad afectada sobre posibles efectos en salud. Sin embargo, habrá que advertir que serán muy raras las ocasiones en que un dato estadístico refleje una relación causa-efecto entre un padecimiento y la exposición a contaminantes.

### **5.5. Revisión del Modelo Conceptual del Sitio**

Con la información de esta sección, el investigador podrá revisar su modelo en lo que respecta a los componentes humanos.

## **6. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO**

La caracterización del riesgo en el método que estamos proponiendo, no seguiría el diseño tradicional de la EPA, en cuanto a la cuantificación del riesgo mediante la estimación de la dosis de exposición y su posterior comparación contra alguna dosis de referencia. Consideramos que en este método, la información recopilada en las diferentes secciones es suficiente para obtener una visión clara de la problemática.

El objetivo de la sección sobre caracterización del riesgo es obtener una respuesta a la pregunta: ¿Existe un riesgo (ecológico y/o humano)? Además, para el caso de que el riesgo exista, se deberá establecer un modelo definitivo del sitio a fin de establecer las rutas de exposición que deben ser controladas para reducir el riesgo que haya sido identificado.

Para la caracterización del riesgo en este método, cada sección debe ser discutida primero por separado y luego de manera integrada. En cada punto se discutirán las limitantes, las incertidumbres y los factores confundentes. Además, el análisis de la información se realizará con criterios rigurosos y consultando siempre antecedentes científicos que hubieren sido reportados. Se compararán los datos del sitio contaminado contra los obtenidos en algún sitio control y contra

valores de referencia obtenidos de la literatura científica o que hayan sido reportados en alguna normatividad nacional o internacional. Habrán de exponerse análisis cualitativos y cuantitativos.

### **6.1. Análisis de la Contaminación Ambiental.**

Esta es la primera sección que debe ser analizada. ¿El muestreo se realizó de manera adecuada? ¿El número de muestras fue suficiente? ¿Los análisis fueron efectuados con programas de control de calidad? ¿Los contaminantes identificados son tóxicos para los humanos y/o para los organismos de la biota? ¿Cuáles puntos fueron los más contaminados? ¿Cuál es la capacidad migratoria de los contaminantes (de un medio a otro y de una locación geográfica a otra)?

### **6.2. Valoración de los Componentes Bióticos.**

¿Existe riesgo ecológico? ¿Los contaminantes están biodisponibles? ¿Existen evidencias de ecotoxicidad? ¿Cuáles son los puntos que presentaron mayor ecotoxicidad? ¿Se identificó algún componente de la biótica que estuviere particularmente en mayor riesgo? ¿Se demostró la presencia de otros estresores en el sitio? La discusión debe darse en término de organismos, poblaciones, comunidades y ecosistema. Habrá que considerar la severidad del efecto tomando en cuenta la concentración de contaminantes, la frecuencia de la exposición y la ecotoxicidad. Se tienen que discutir las incertidumbres (entre los bioensayos seleccionados y aquellas que surjan al comparar los datos de los bioensayos con los obtenidos en especies nativas), la duración de la exposición vs la duración de los efectos (atención a la inducción de resistencia, recuperación y adaptación al medio contaminado) y la dimensión de los efectos que hayan sido identificados. Finalmente, habrá que comentar sobre la reversibilidad del daño ecológico y/o sobre su potencial agravamiento en caso de no introducir acciones correctivas.

### **6.3. Valoración del Componente Humano.**

¿Se identificó un riesgo para la población humana? ¿Los contaminantes están biodisponibles? ¿Existe alguna evidencia de toxicidad? ¿Hay en el sitio poblaciones de alto riesgo? ¿Se detectaron factores que aumentan la exposición de la población a los contaminantes? ¿Existen factores que pudieran incrementar la toxicidad de los químicos presentes en el sitio (por ejemplo, desnutrición)? ¿Los análisis de laboratorio son confiables?. Debe discutirse las incertidumbres sobre marcadores de exposición (por ejemplo que reflejen exposición aguda, cuando lo que se buscan son efectos crónicos), y sobre los marcadores de daño biológico (sobre su inespecificidad o la falta de control de algunos confusores). ¿En la literatura existen antecedentes como los encontrados en el sitio estudiado? ¿El daño es reversible? ¿El riesgo puede incrementarse en caso de que no se instrumente algún programa correctivo?

### **6.4. Análisis Integral del Riesgo.**

En este punto se conjuntarán todos los datos a fin de responder a la pregunta: ¿El sitio representa un riesgo para la biota y/o para la población humana?. La respuesta no solamente debe darse con

la información del estudio, sino también añadiendo toda la evidencia que pueda obtenerse de la literatura científica. Es el peso de la evidencia, lo que precisamente le dará fortaleza a la contestación de la interrogante.

En caso afirmativo, en caso de que exista un riesgo en el sitio, entonces los investigadores deberán contestar las siguientes preguntas: ¿Cuál es la magnitud del riesgo encontrado? ¿El sitio debe ser restaurado a fin de reducir el riesgo? ¿En caso de que no se restaure el sitio, el riesgo puede incrementar y/o puede extenderse a otras locaciones? ¿Existe alguna acción que la comunidad pueda tomar para disminuir el riesgo? ¿En la comunidad existen profesionistas que pueden atender la problemática identificada?

El investigador deberá identificar las acciones ecológicas, de salud o educativas que pudieran ser útiles para disminuir el riesgo. El documento debe concluir con un segmento del tipo de estudios que sería adecuado iniciar a fin de obtener mejores evidencias del sitio. En este punto, es bueno recordar que la sección ecológica de la presente metodología debe tomarse como una evaluación preliminar, ya que el método para determinar el riesgo ecológico incluye aspectos no considerados aquí.

Con la información, el investigador finalmente expondrá un modelo definitivo del sitio e identificará las rutas de exposición de mayor riesgo. Es muy importante exponer una correspondencia entre las rutas más contaminadas y las rutas que hayan representado un mayor riesgo para los seres vivos.

Por último, es muy importante discutir las preocupaciones de la sociedad que hubieren sido colectadas durante la visita. El reporte final deberá ser entregado a la población y en consecuencia, deberá contener respuestas claras a las interrogantes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con el apoyo de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (N/D24102461.037).

## REFERENCIAS

1. Moreno AR y Díaz-Barriga F, "Evaluación de Riesgos en Salud por la Exposición a Residuos Peligrosos" (traducción del inglés al español), editorial: Centro Panamericana de Ecología Humana y Salud OPS/OMS, ISBN: 0873718577, México, 1995.
2. Díaz-Barriga F, "Evaluación de Riesgos para la Salud en la Población Expuesta a Metales en Bolivia", editorial: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud de la Organización Panamericana de la Salud, Primera Edición, pp 105, ISBN: 9275322317. México, 1997.



3. Díaz-Barriga F, "Metodología de Identificación y Evaluación de Riesgos para la Salud en Sitios Contaminados" Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Primera Edición, pp 96. OPS/CEPIS/PUB/99.34. Perú, 1999. World Health Organization.
4. Díaz-Barriga F y Corey G, "Evaluación del Riesgo por la Exposición a Plomo" CEPIS-OPS Organización Panamericana de la Salud, Primera Edición, pp 165, Perú, 1999.
5. Ronald J. Kendall, Jeanne M. Funsch, Catherine M. Bens. (1990) Use of wildlife for on-site evaluation of bioavailability and ecotoxicity of toxic substances found in hazardous waste sites. In: In situ Evaluations of Biological Hazards of Environmental Pollutants. Edited by S. S. Sandhu. Plenum Press, New York.
6. Bartell S. M., Campbell K. M., Lovelock C. M., Nair S. K., Shaw J. L., (2000). Characterizing aquatic ecological risks from pesticides using a diquat dibromide case study III. Ecological process models. Environmental Toxicology and Chemistry. 19(5): 1441-1453.
7. Dikerson R. L., Hooper M. J., Gard N. W., Cobb G. P., Kendall R. J. (1994). Toxicological foundations of ecological risk assessment: Biomarker development and interpretation based on laboratory and wildlife species. Environmental Health Perspective. 102(suplemento 12): 65-69.
8. Environmental Contaminants in Wildlife. Interpreting Tissue Concentrations (1996). Edited by W. Nelson Beyer, Gary H. Heinz, Amy W. Redmon-Norwood. Lewis Publishers, CRC Press.
9. Handbook of Ecotoxicology (1993). Edited by Peter Calow. Blackwell Science.
10. Guidelines for Ecological Risk Assessment (1998) United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/ncea/raf/pdfs/ecotxtbx.pdf>
11. <http://www.epa.gov/> search/ecological risk assessment

<b>TABLA 1. ESQUEMA PARA LA EVALUACIÓN INTEGRAL DEL RIESGO EN SITIOS CONTAMINADOS</b>				
DESCRIPCIÓN DEL SITIO	Formulación del Problema	Datos del Sitio	Identificación de las Rutas de Exposición	propuesta de un modelo conceptual del sitio
	Visita al Sitio	Identificación de Contaminantes		
ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	Plan de Muestreo y Programas Analíticos	Toxicidad y Comportamiento Ambiental de los Contaminantes	Selección de los Contaminantes Prioritarios	revisión del modelo conceptual del sitio
VALORACIÓN DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS	Análisis Preliminar de los Componentes Bióticos del Sitio organismos poblaciones comunidades ecosistemas	Índice de Toxicidad Ambiental	Biodisponibilidad y Toxicidad en Bioensayos	
		Índice de Integridad Biótica	Datos Bióticos Complementarios del Sitio	
		Estudio de Especies Nativas	Valoración de la Exposición y Daño en Organismos	
		Revisión del Modelo Conceptual del Sitio		
VALORACIÓN DE LOS COMPONENTES HUMANOS	Selección de la Población en Riesgo	Análisis de la Exposición	Análisis de los Efectos Biológicos	Estadísticas de Salud del Sitio
	Revisión del Modelo Conceptual del Sitio			
CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO	Ecológico	Humano	Integrado	modelo definitivo del sitio



Visita la página de la  
**Agenda Ambiental**  
de la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

<http://ambiental.uaslp.mx/>

URL de este documento:

<http://ambiental.uaslp.mx/docs/FDB-EvalRiesgo.pdf>