

Auspiciado por:



METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS PARA LA SALUD EN SITIOS CONTAMINADOS

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO :

Fernando Díaz-Barriga

PARTICIPANTES EN LAS ETAPAS DE REVISIÓN Y CORRECCIÓN :

Volney de M. Camara

Jacira A. Cancio

Sergio A. Caporali

Maria Luisa Castro de Esparza

Josino Costa Moreira

Fernando Díaz-Barriga

Luiz Galvao

Marisa Palacios

Enrique Paz

Alexandre Pessoa da Silva

AGRADECIMIENTOS

El documento se elaboró gracias al apoyo de la GTZ. Los datos que sirven como ejemplos, se obtuvieron con el apoyo del programa FOMES-1997 y del Sistema de Investigación Miguel Hidalgo (RN/26-96).

Indice general:

- [Introducción](#)
 - [Capítulo 1. Generación de un listado de sitios peligrosos](#)
 - [Capítulo 2. Inspección de sitios peligrosos](#)
 - [Capítulo 3. Evaluación de la exposición en sitios peligrosos](#)
 - [Anexo 1. Información requerida para cada sitio peligroso](#)
 - [Anexo 2. Bases para la calificación de los sitios inspeccionados](#)
 - [Anexo 3. Inspección de sitios peligrosos. Zona minera de Villa de la Paz - Matehuala](#)
 - [Anexo 4. Evaluación de la exposición en sitios peligrosos. Zona minera de Villa de la Paz - Matehuala](#)
 - [Bibliografía](#)
-

Introducción

El desarrollo de la industrias, el amplio manejo de agroquímicos en las actividades agrícolas y el crecimiento urbano en América Latina, fomentan una creciente producción de residuos peligrosos, que ante la falta de programas paralelos para su manejo adecuado, causan graves episodios de contaminación ambiental.

Definiciones.

El término residuo peligroso involucra la definición de residuo y el concepto de peligrosidad. Como residuo estan definidos los materiales que son generados en procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permite usarlos nuevamente en el proceso que los generó. Es decir, son los materiales que no tienen uso directo y se descartan en forma permanente.

En tanto, en el término peligrosidad la Organización Panamericana de la Salud engloba a las sustancias que por sus características físicas, químicas o infecciosas, pueden (1) causar un aumento de la mortalidad o un aumento de enfermedades graves irreversibles o reversibles que producen invalidez, o contribuir significativamente a ello, o (2) plantear un riesgo sustancial real o potencial a la salud humana o al medio ambiente cuando son tratados, almacenados, transportados, eliminados o manejados en forma indebida. En concordancia con lo anterior, los sitios, áreas o zonas, contaminados por residuos peligrosas son definidos en este manual como "sitios peligrosos".

Antecedentes de Metodologías Similares.

El tipo de contaminación que se presenta en los sitios peligrosos es uno de los mas complejos. Por lo general, esta es una contaminación dada por mezclas químicas (varios contaminantes), que se presenta en multimedios (varios medios ambientales) y que afecta a diversas comunidades (varios grupos poblacionales en riesgo). Es decir, la complejidad de la contaminación en los sitios peligrosos requiere de una metodología específica para su estudio. Sin embargo, el diseño de esta metodología, además de considerar las características propias de los sitios peligrosos, debe tomar en cuenta las realidades de los países en vías de desarrollo, tales como: falta de recursos humanos, escasez de laboratorios con programas de control de calidad, insuficiente información técnica sobre los sitios a estudiar y muchas veces, inclusive, desconocimiento total de la localización de sitios peligrosos.

Estados Unidos es el país que ha marcado la pauta en el diseño de metodologías para el estudio de sitios peligrosos. Dos de ellas, complementarias entre sí, son las mas populares; una fue diseñada por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la otra fue originada por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública (ATSDR). La primera estima el riesgo en salud basándose en datos ambientales del sitio y la segunda evalúa el riesgo en salud con fundamento en los datos ambientales y en los antecedentes de salud registrados en el área de influencia del sitio.

La aplicación exacta de los métodos de la EPA y de la ATSDR en América Latina, presenta algunas dificultades, fundamentalmente por dos hechos: el gran número de sitios que deben estudiarse y la escasez de recursos económicos para efectuar los estudios tan detallados que se requieren en dichas metodologías. Por consiguiente, se plantea una alternativa, adaptando los puntos mas valiosos de los métodos estadounidenses, a las condiciones y necesidades de los países Latinoamericanos.

Objetivos y Alcances.

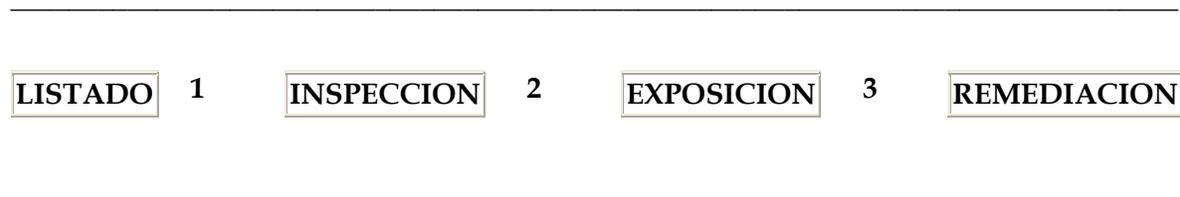
La metodología alternativa que se propone en este manual nace con dos objetivos igual de importantes : (1) evaluar la peligrosidad de los sitios peligrosos; y (2) establecer los mecanismos para que los Gobiernos de la Región puedan tomar decisiones en materia de restauración de sitios, basados sobre todo, en datos de salud.

Esta metodología se genera bajo una secuencia lógica de actividades, que paulatinamente van contestando las interrogantes que surgen cuando se estudia un sitio contaminado.

Esquema de la Metodología.

En lo general, la metodología que se propone cuenta con tres fases (Esquema 1) : la obtención de un listado preliminar de sitios potencialmente contaminados, la inspección de los sitios listados y la evaluación de la exposición en aquellos sitios que como resultado de la inspección hayan sido considerados de alto riesgo.

Esquema 1. Fases de la Metodología OPS.



(1) Priorización preliminar. (2) Calificación de los sitios al final de la fase de inspección. (3) Categorización de los sitios al final de la fase de evaluación de la exposición.

El listado es de suma importancia ya que permite identificar como peligrosos a sitios que normalmente pasan desapercibidos como tales, este es el caso, por ejemplo, de los basureros municipales donde se depositan desechos industriales y de los campos agrícolas donde se utilizan agroquímicos en exceso. Ahora bien, es importante hacer notar que el listado que se propone es uno para sitios potencialmente contaminados. Se enfatiza el término "potencialmente" ya que muchos de los sitios que se incluyen en el tipo de listas que se obtienen con el método, muy probablemente no hayan sido estudiados con detalle y por ende, no podría plantearse de antemano una definitividad en cuanto al riesgo asociado a ellos. A pesar de que los sitios listados cuenten con la incertidumbre en cuanto

a su peligrosidad, tal incertidumbre es aceptable ante el hecho de que el listado puede ser útil para identificar a auténticos sitios peligrosos.

Comparación Entre los Métodos Estadounidenses y el Método OPS.

En Estados Unidos la caracterización de los sitios es responsabilidad de la EPA. De acuerdo a sus esquemas, los primeros listados se obtuvieron colectando la información de los sitios que ya se tenían detectados. Estos listados ahora son enriquecidos sobre todo con base a las denuncias de la población civil. Según algunas fuentes, en los Estados Unidos existe un máximo de 439 mil sitios potencialmente peligrosos, pero debido a lo limitado de los recursos económicos dedicados a la restauración, al descubrimiento del sitio le sigue una fase de inspección (Esquema 2). Esta fase denominada de "evaluación preliminar e inspección del sitio", es sumamente completa ya que implica el conocimiento total del sitio. Esto es, se recopila información con todos los antecedentes del sitio (geología, hidrología, climatología, demografía, etc.) y se analiza en conjunto con datos sobre la concentración de los contaminantes en la mayoría de los medios ambientales (aire, agua superficial, agua subterránea, suelo y alimentos). Los medios ambientales que se estudian son aquellos que se sospechan están contaminados.

Esquema 2. Fases de la Metodología EPA.

DESCUBRIMIENTO
DEL SITIO

EVALUACION
PRELIMINAR

NPL

RESTAURACION

(NPL) Lista Nacional de Sitios Prioritarios.

En el método que se propone, la fase de inspección no es tan completa como la descrita en los programas de Estados Unidos, y no puede serlo por el gran número de sitios que merecen la inspección, por los limitados recursos económicos y debido a la escasez de información básica sobre los sitios. Por consiguiente, se ha preferido diseñar una inspección rápida, económica pero confiable. En el método alternativo que se presenta en este manual, la inspección comprende tan solo el estudio de las rutas de mayor importancia y se analizan en ellas, solamente los contaminantes críticos.

En el método de la EPA, al final de la evaluación preliminar se procede a la priorización de los sitios. Esta priorización da lugar a la Lista Nacional de Prioridades (NPL, por sus siglas en inglés) y se realiza utilizando un complejo sistema de priorización comparativa de riesgos. Dicho sistema es difícil de aplicar en las condiciones de América Latina por la gran cantidad de datos que se requieren para él. En el caso de los Estados Unidos, los sitios listados en la NPL son de inmediato introducidos a todo un programa cuyo fin último es la restauración. Dicho programa comprende entre otros puntos: la estimación del

riesgo, la obtención de mayor información ambiental (en caso de requerirse) y los estudios de factibilidad técnica y económica para la restauración. Se advierte el enorme costo económico que puede llegar a tener solamente la elaboración de un plan de restauración.

El método alternativo propone un ejercicio de calificación para después de la fase de inspección, dicha calificación pudiera servir para priorizar los sitios, pero realmente se diseñó con el objetivo de darle a cada sitio un valor específico y proceder de inmediato a ejercitar acciones. El valor de la calificación, permite colocar a los sitios inspeccionados en tres niveles preliminares de riesgo: bajo, alto y muy alto. Así, tres acciones diferentes son propuestas para ellos: (1) vigilancia ambiental para los sitios de bajo riesgo; (2) evaluación de exposición para los sitios de alto riesgo; y (3) evaluación de exposición y restauración inmediata para los sitios de muy alto riesgo. La decisión sobre el tipo de acción depende entonces del nivel de riesgo. El riesgo bajo se elimina para restauración pero permanece en vigilancia ambiental. El riesgo muy alto justifica su restauración por el nivel de contaminación. Pero la mayoría de los sitios, que caerán en la categoría de riesgo alto, requieren de otra fase de estudio para definir realmente su nivel de riesgo. Recordemos que la fase de inspección es un análisis preliminar y no podemos arriesgarnos a invertir fondos económicos en sitios que pudieren tener un riesgo menor de lo estimado.

Por ejemplo, en un sitio pudieren encontrarse niveles muy altos de plomo en suelo, durante la fase de inspección. Dichos valores serían indicativos de riesgo, pero si la biodisponibilidad (capacidad de absorción) del plomo es baja, aún con valores altos en suelo su riesgo sería mínimo. ¿Cómo obtener la información sobre biodisponibilidad?, la respuesta es simple, a través del uso de biomarcadores de exposición, en este caso, de plomo en sangre. Si los niveles de plomo en suelo son altos pero los de plomo en sangre en la población expuesta son bajos, el riesgo es mínimo. Esto ilustra de que invertir en la restauración de un sitio, teniendo como antecedente solamente las concentraciones ambientales, pudiera ser un mal negocio.

En consecuencia, el objetivo de la fase para la evaluación de la exposición es la obtención de mayores datos, datos que permitirán corroborar o no, el riesgo en salud asociado a un sitio. En esta fase se busca información sobre exposición humana a las sustancias tóxicas y por consiguiente, su diseño se basó en la metodología de ATSDR (Esquema 3).

Esquema 3. Etapas de la Fase "Evaluación de la Exposición"

ANTECEDENTES DEL SITIO	atsdr
VISITA AL SITIO	atsdr
PREOCUPACIONES COMUNITARIAS EN SALUD	atsdr
CONTAMINACION AMBIENTAL	atsdr
SELECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS	atsdr
ANALISIS DE LAS RUTAS DE EXPOSICION	atsdr
ESTIMACION DEL RIESGO EN SALUD	atsdr **

BIOMARCADORES DE EXPOSICIÓN	atsdr ***
BIOMARCADORES NUTRICIONALES	ops
EVALUACION MICROBIOLÓGICA TOTAL	ops
ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS DE SALUD	atsdr
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	atsdr

(atsdr) Esta etapa está incluida en la metodología de evaluación de riesgos en salud de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de los Estados Unidos. (**) La estimación del riesgo en salud se denomina evaluación toxicológica en la metodología estadounidense. (***) Esta etapa ya es considerada por la ATSDR pero solo se aplica en estudios especiales. (ops) Se aplican solamente en la metodología de la OPS.

Comparando las etapas de la fase de "evaluación de la exposición " con las de la "evaluación del riesgo en salud" de la ATSDR (Esquema 3), se advierte que en el caso del método de la OPS se incluyen dos etapas no contempladas en el método original de la ATSDR. Las etapas que han sido adicionadas son : los biomarcadores nutricionales y la evaluación microbiológica total. Además, los biomarcadores de exposición, en el método de la OPS se aplican siempre, en tanto, la ATSDR solo los aplica en estudios especiales. El resto de las etapas son iguales para ambos métodos.

Con los biomarcadores de exposición se pretende disminuir la incertidumbre de la estimación del riesgo asociada al uso de los procedimientos matemáticos clásicos. Como fue indicado en un ejemplo anterior, el biomarcador de exposición da la pauta sobre la biodisponibilidad de las sustancias. El uso de biomarcadores encarece la metodología, pero los resultados y las conclusiones que pueden obtenerse con su empleo justifican plenamente el costo. Debemos recordar que en América Latina existen enormes necesidades sociales, los problemas de alimentación, sanidad, educación, empleo, etc., son tan o más importantes que la contaminación del ambiente. Por lo tanto, si la problemática ambiental va a desviar recursos destinados a las prioridades sociales, el tomador de decisiones debe estar seguro de que dicha acción está justificada por un riesgo significativo en salud; y en este escenario, el uso de biomarcadores de exposición fortalece la conclusión sobre el nivel de riesgo. En otras palabras, para una decisión de alto costo social, no puede admitirse la incertidumbre de una estimación del riesgo que ha sido obtenida a través de cálculos matemáticos. Cálculos que además, hayan sido alimentados solamente con las concentraciones ambientales de los tóxicos.

La inclusión de los biomarcadores nutricionales y de la evaluación microbiológica se dan en el espíritu de la equidad ambiental. En América Latina, la mayoría de los sitios peligrosos se localizarían en comunidades marginadas o estarían rodeados por zonas de pobreza. La desnutrición en dichos sitios es una realidad de la vida misma y para algunos agentes químicos, la deficiencia de nutrientes es un factor que incrementa la toxicidad de

ellos. Por consiguiente, la desnutrición debe ser evaluada a fin de establecer el nivel real del riesgo.

La evaluación microbiológica se incluye porque para los países en vías de desarrollo, la contaminación de origen biológico en algunos sitios, representa mayor riesgo que la contaminación de origen químico. Además, la interacción entre ambos tipos de contaminación es sumamente factible. Por ejemplo, muchos agentes químicos son capaces de alterar el sistema inmune aumentando así, la susceptibilidad a los agentes microbianos en los individuos expuestos a ellos. En contraparte, algunos microorganismos, como aquellos que afectan al hígado, podrían alterar el metabolismo tisular y ello podría modificar, el metabolismo y la toxicidad de algunos compuestos químicos.

En conclusión, la introducción de biomarcadores y la evaluación microbiológica permiten la adaptación de la metodología ATSDR a las condiciones de América Latina. Asimismo, los resultados que pueden obtenerse con la metodología de la OPS, facilitan la toma de decisiones en cuanto a la restauración del sitio. Todo ello, justifica el incremento del costo económico que representa instrumentar la fase de "evaluación de la exposición".

Además de las modificaciones anteriores, a continuación se examinan dos diferencias relevantes entre la metodología que propone la OPS y las metodologías que han sido utilizadas en los Estados Unidos:

1. La EPA estima la exposición por ruta; esto es, no suma las dosis calculadas en cada ruta para obtener una dosis total. El trabajo de la EPA se entiende dado que su fin es la restauración y ésta se facilita si en cada sitio se establece cual es la ruta de exposición que mayor riesgo representa a la población, ya que ella sería el objetivo de las primeras medidas correctivas. En el caso de la metodología de la OPS, las dosis de exposición de cada ruta se suman para obtener una dosis total de exposición. Por supuesto que se asume la incertidumbre de que las sustancias mantienen su toxicidad independientemente de la vía de entrada al organismo, lo cual no siempre es cierto. Tal incertidumbre ha sido aceptada con el fin de establecer el máximo riesgo posible y éste sería el caso de un sujeto que estuviese expuesto al mismo contaminante a través de diversos medios ambientales. Recordemos que la finalidad es establecer un escenario de máximo riesgo, a fin de brindar a los tomadores de decisiones, los argumentos que pudieren justificar los gastos requeridos para la restauración.

2. En las estimaciones de riesgo, la metodología de la OPS utiliza factores de exposición específicos. Un ejemplo claro es la ingesta de suelo. En el caso de la EPA y de la ATSDR el nivel de ingesta de suelo infantil va de 100 a 200 mg/día. Para el caso de la metodología alternativa, se ha establecido un valor de 350 mg/día. Los distintos valores son entendibles dadas las diferencias en las condiciones de urbanismo entre ambas realidades socioeconómicas. En el caso de América Latina, todavía se cuenta en algunos sitios, con calles no pavimentadas, vecindades con patios interiores de tierra, áreas de recreación infantil sin cubierta vegetal, etc.

Conclusión.

Los párrafos anteriores describen en lo general, la metodología que la OPS presenta como alternativa. Podrá advertirse que esta propuesta no es del todo novedosa pero tampoco pretende serlo. Se busca la funcionalidad, se busca la adaptación a las condiciones que imperan en América Latina de los métodos desarrollados y aplicados en los Estados Unidos. Pero sobre todo se persigue la seguridad al momento de tomar una decisión. La escasez de recursos económicos obliga a la exigencia en la definición del riesgo en salud. Es mucho más económico un buen estudio que una mala decisión.

El método que se presenta en este manual no es definitivo. Por el contrario, la OPS busca la interacción con los investigadores de América Latina y por tal motivo, se solicitan comentarios que puedan enriquecer las futuras versiones de este trabajo.

Por último, también debe quedar claro que el desarrollo del presente método no es la única acción que realiza la OPS en la materia. Por ejemplo, en 1994 fue publicado un excelente reporte sobre desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe (serie ambiental N° 14). Asimismo, se han instrumentado numerosos cursos tanto teóricos como prácticos, de los cuales se han generado recursos humanos para diferentes países de la región. Estos cursos se han impartido en distintas disciplinas y la racional detrás de ello, es que la evaluación de riesgos requiere de la formación de grupos multidisciplinarios.

<http://www.cepis.ops-oms.org/>

Capítulo 1. Generación de un listado de sitios peligrosos

Esquema General

Este capítulo presenta un sistema para obtener un listado priorizado de sitios peligrosos. El método ha sido diseñado para aquellos países o regiones que carecen de dicha lista y donde puede suponerse que falta información ambiental. La carencia de información es la principal limitante, ya que genera incertidumbre en el sistema. Dichas incertidumbres son superadas en la medida en que se van completando los estudios ambientales que se proponen efectuar en las siguientes fases de la metodología (capítulos 2 y 3). En consecuencia, la incertidumbre no debe ser barrera para obtener un listado. Es más, el listado obliga a realizar estudios, motiva la conciencia en los tomadores de decisiones y facilita la instrumentación de planes preventivos.

Con estos antecedentes, debe quedar claro que la primera lista es una de sitios *potencialmente* peligrosos, y solo hasta obtenidos los datos analíticos, se establecería el grado real de peligrosidad de cada uno de los sitios listados. Se define como sitio *potencialmente* peligroso, a toda zona que se encuentre *potencialmente* contaminada con sustancias peligrosas. Las sustancias pueden estar en estado sólido, gaseoso o líquido y su origen puede ser antropogénico o natural. En este concepto no se incluye a la contaminación urbana originada por los vehículos automotores, debido principalmente, a que los contaminantes atmosféricos deben ser estudiados bajo una metodología distinta a la que se expone en este manual.

Grupo Organizador

Para generar una lista de sitios potencialmente peligrosos, lo primero que se propone es la formación de un Grupo de individuos cuya responsabilidad será precisamente la obtención del primer listado. Este Grupo deberá estar constituido por miembros del gobierno, miembros de la iniciativa privada, investigadores universitarios, representantes de los diferentes grupos de la sociedad civil (unión de consumidores, líderes de la comunidad, etc.) y miembros de los grupos no gubernamentales interesados en la temática.

Para pertenecer al Grupo debe contarse con varios requisitos, por ejemplo, contar con experiencia en materia ambiental, tener conocimiento de la región y poseer mentalidad constructiva a fin de poder trabajar con personas de diferentes disciplinas y con distintos intereses. Independientemente de su capacidad, todos los miembros del Grupo deberán recibir un curso de entrenamiento en el método de priorización, con el objeto de establecer bajo un mismo criterio, las definiciones técnicas necesarias para el ejercicio. El Grupo tendrá que nombrar a un Coordinador quien normará las reuniones.

Categorías para la Elaboración del Listado

Definidos los integrantes del Grupo que elaborará la primera lista, lo que procede es la homogeneización de los criterios bajo los cuales se listarán a los sitios peligrosos. Dentro de los criterios mas importantes a establecer antes de iniciar el ejercicio, estaría la definición de las categorías para la identificación de dichos sitios. Por ejemplo, los sitios podrían identificarse considerando solo a aquellos que se localicen en una determinada Región Geográfica (municipal, o estatal, o nacional, etc.); que tuvieren contaminado un mismo Medio Ambiental (agua subterránea, o suelo, o agua superficial, o aire, etc.); que estuviesen impactados por similares Fuentes Contaminantes (podrían listarse solo a las zonas mineras o solamente a las zonas petroleras, etc.); que sus Contaminantes compartieran características parecidas (entonces se listarían sitios contaminados con plaguicidas, o con metales, etc); y finalmente, podrían listarse sitios basados en características Generales (tomando en cuenta a todos los medios ambientales, a todas las fuentes contaminantes y a todos los tipos de contaminantes, en una región geográfica previamente definida).

Una vez definido el ámbito del listado, se tiene que comenzar a reunir información, ésta puede provenir de varias fuentes, entre ellas: (A) la información obtenida a partir de la experiencia de los propios miembros del Grupo responsable, (B) los datos de los inventarios industriales o de fuentes contaminantes que puedan existir en las regiones, y (C) la información recopilada a partir de los sistemas de información geográfica u otras fuentes estadísticas. A fin de facilitar el listado de sitios peligrosos, puede partirse de incluir sitios dentro de siete grandes categorías. Estas categorías han sido definidas tomando en cuenta las principales fuentes de residuos peligrosos en América Latina.

1. Minerometalurgia. Todas las minas y todas las fundiciones o electrolíticas metalúrgicas, deben ser consideradas como sitios peligrosos hasta que se demuestre lo contrario. La

minería genera residuos metálicos que pueden contaminar sobre todo el suelo y las fuentes de agua. Las fundiciones y las electrolíticas pueden contaminar los sitios vecinos a ellas por la generación de polvos metálicos y en algunos casos por la emisión de gases tóxicos como el bióxido de azufre.

2. Regiones Agrícolas. Todas las regiones agrícolas donde se apliquen plaguicidas deben considerarse como potencialmente peligrosas, por la posibilidad de la contaminación del suelo y de fuentes de agua potable. Debido a la gran extensión que puede llegar a tener una área agrícola, la definición de sitio peligroso en una región de esta naturaleza, pudiera limitarse a aquellos puntos donde se permite el contacto humano con los plaguicidas; por ejemplo, los ríos, las comunidades agrícolas, etc.

3. Macroindustrias. Ante la escasez de mecanismos para el manejo adecuado de residuos industriales, los patios traseros de las industrias suelen tener almacenadas cantidades importantes de residuos peligrosos, y en algunos casos, los baldíos cercanos a las zonas industriales se convierten en auténticos depósitos no controlados de este tipo de residuos. En las áreas de influencia de una zona industrial, debe vigilarse la contaminación en todos los medios del ambiente.

4. Industria Petrolera (incluida extracción). La actividad industrial que gira alrededor del petróleo es altamente contaminante y generadora de residuos peligrosos, conteniendo sobre todo, compuestos orgánicos.

5. Microindustria. En la mayoría de los países, un porcentaje muy importante de la actividad industrial se genera en microindustrias. Considerando la dificultad de la vigilancia ambiental de este tipo de empresas, en muchas ocasiones ellas se convierten en importantes focos de contaminación. Dentro de los giros microindustriales que suelen causar problemas están: ladrilleras, curtidoras de piel, recicladoras de baterías, pequeñas fundiciones, etc.

6. Depósitos NO Controlados. En cuanto a residuos sólidos hay que considerar a los rellenos sanitarios (para discriminar debe iniciarse por el estudio de ciudades con una población mayor de 100 mil habitantes), a los tiraderos clandestinos y a los confinamientos para residuos industriales no regulados. En cuanto a residuos líquidos, deberán analizarse las áreas a donde lleguen las aguas residuales de industrias y/o ciudades (mayores a 100 mil habitantes).

7. Otros. Este apartado se deja para sitios que no pueden categorizarse en cualquiera de las clasificaciones anteriores. Tal es el caso de sitios contaminados por actividad natural (volcanes, aguas termales, etc.), sitios contaminados por accidentes químicos (derrames, accidentes carreteros, etc), áreas impactadas con radiactividad, zonas contaminadas con residuos hospitalarios, etc.

Es importante hacer notar que en esta fase, todos los sitios serán considerados como potencialmente contaminados y por lo tanto, no debe eliminarse ninguno sin que exista prueba de la ausencia de riesgos. En el Anexo 1 se presenta una guía para obtener datos de los sitios que serán listados.

Primera Priorización

Es factible que al terminar el ejercicio se cuente con un largo listado de sitios, para los cuales existan grandes vacíos de información. Por consiguiente, se plantea que todos los sitios listados deberán ser sujetos de una siguiente fase de estudios, que sería la Inspección Preliminar, descrita en el capítulo 2 de este manual. Sin embargo, como la siguiente fase ya requiere de análisis ambientales, por el costo y por el tiempo, es importante que se evalúen primero los sitios que pudieren ser los más riesgosos. En este contexto, se hace necesaria una priorización preliminar de los sitios listados. Se reitera que esta priorización no pretende eliminar sitios sino que pretende ordenarlos basados en la información obtenida. El objetivo es obtener una secuencia para estudiar primero a los más peligrosos. Esto debe quedar claro, ya que ante los vacíos de información, un sitio que pudiera ser considerado como no peligroso (y por ende que obtuviera la última posición de la lista priorizada), podría realmente serlo. En el Anexo 1 también se presenta el esquema para establecer la primera priorización.

Al priorizar la lista, los miembros del Grupo deberán tener en mente dos factores de suma importancia: que éste es un proceso interactivo y que debe atenderse a aquellos sitios que tengan vulnerabilidad social. En cuanto al proceso interactivo, el Coordinador del Grupo deberá generar un mecanismo para que la lista pueda ser corregida y retroalimentada, a lo largo del proceso y aún después de que la actividad del Grupo haya concluido. Con respecto al concepto de vulnerabilidad social, no se pretende abordar en este manual los principios que fundamentan su aplicación, ya que cada país cuenta con un concepto propio de acuerdo a sus particulares indicadores de desarrollo social y/o económico. Sin embargo, debe quedar claro que los grupos con mayor vulnerabilidad social tendrían mayores probabilidades de tener eventos de daños a la salud por la presencia de contaminantes.

Ejemplo de Generación de un Listado de Sitios. Caso: San Luis Potosí, México

Considerando los indicadores básicos de bienestar, San Luis Potosí (SLP) es un estado marginado, ya que ocupa el lugar 29 entre las 32 entidades mexicanas. Además, en cuanto al PIB per cápita ocupa un lugar 25 poco favorable. De los dos millones de habitantes registrados en el censo poblacional de 1990, el 40 % se concentraba en la zona metropolitana de la capital. El tamaño de la industria en SLP y su productividad agrícola o minera son limitados en una comparación nacional. Así, el sector agropecuario potosino aporta solo el 1.5 % al PIB nacional del sector, la minería potosina aporta únicamente el 0.5 % al PIB nacional del sector y la industria manufacturera ubicada en SLP solo genera el 1.2 % del PIB nacional del sector. Por otro lado, a excepción de la Ciudad Capital, SLP no cuenta con grandes ciudades y a nivel de desarrollo económico, algunos de sus municipios están en la lista de los de mayor marginación en el país.

Los datos anteriores no ubicarían a SLP como una región altamente contaminada. Sin embargo, como se describe a continuación en este ejemplo, SLP no solo tiene 47 sitios potencialmente peligrosos, sino que en los 10 primeros de la lista priorizada, las poblaciones estarían expuestas a sustancias químicas en niveles de alto riesgo.

Obtención del Listado

En primer lugar se formó un grupo de tres individuos, uno proveniente de las áreas ambientales del gobierno estatal, otro con igual experiencia perteneciente al gobierno federal y el tercero fue un investigador universitario con amplia experiencia en investigaciones ambientales, realizadas en diversos sitios de SLP. El grupo definió como sitio potencialmente peligroso, a toda zona potencialmente contaminada con sustancias químicas y decidió elaborar la lista tomando en cuenta: todos los medios ambientales, todas las fuentes contaminantes y todos los tipos de contaminantes, en el territorio del Estado de SLP.

Con base al formato ya descrito en el Anexo 1 de este Capítulo, se obtuvo la primera lista. Para el trabajo se consideraron los siguientes siete sectores :

1. Minerometalurgia.	5. Industria Petrolera.
2. Regiones Agrícolas.	6. Depósitos no Controlados (sólidos y líquidos).
3. Areas Industriales.	7. Contaminación Natural.
4. Microindustria.	

En la primera versión, la Universidad listó 28 sitios y los representantes gubernamentales listaron 12 sitios. Entre ambas listas solo hubo tres coincidencias, por lo cual, el grupo obtuvo un gran total de 37 sitios potencialmente peligrosos.

A continuación se procedió a examinar la información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Los bancos de datos industriales, agrícolas y comerciales fueron revisados. Asimismo, el Censo Poblacional de 1990 sirvió para definir ciudades con más de 100 mil habitantes. Con la información del INEGI se obtuvieron 29 sitios y se definieron de mejor manera los sectores agrícolas. De estos 29 sitios, 19 ya habían sido listados por el grupo organizador. Es decir, con la información del INEGI se obtuvieron 10 sitios más que no habían sido contemplados por los expertos.

Al final se obtuvo una lista de 47 sitios. Es importante hacer notar que el total de los depósitos no controlados incluye a los sitios con residuos sólidos (tiraderos industriales, basureros municipales de ciudades con más de 100 mil habitantes, etc.) y a los sitios contaminados con residuos líquidos (áreas con aguas residuales, acuíferos contaminados, etc.); siendo más los primeros. El sector petrolero es muy pobre en SLP y por ello, ocupó un último lugar. Este hecho permite una reflexión. La participación de los sectores en el listado de sitios peligrosos será una característica local. Es decir, con los datos de SLP no puede inferirse el comportamiento de otras entidades. Así por ejemplo, en el sureste mexicano, que es la región donde se concentra el sector petrolero del país, los sitios peligrosos relacionados con dicho sector tendrían mayor relevancia que la encontrada en SLP.

En cuanto a los listados por sector y por fuente (Universidad, Gobierno o INEGI), fue notorio que para el sector minero el Gobierno no aportó sitio alguno, en tanto con los datos de INEGI se pudo listar a los nueve sitios que finalmente quedaron como

representantes de este sector. En la agricultura, de nueva cuenta la información de INEGI permitió listar al total de los sitios. El Gobierno aportó mayores datos en los sectores industrial y de depósitos no controlados contaminados con residuos sólidos. La Universidad mantuvo una constante, pero destacó como fuente informativa de sitios peligrosos relacionados con la microindustria, con depósitos no controlados de residuos líquidos y con lugares con contaminación natural. Curiosamente solo hubo dos sitios que fueron listados por los tres componentes de información, uno fue un sitio agrícola y otro fue el sitio petrolero.

Primera Priorización

El esquema seguido para obtener la Primera Priorización de los sitios potencialmente peligrosos, fue el descrito en secciones anteriores de este capítulo y se presenta en el Anexo 1 de este manual. Al analizar los primeros 10 sitios listados, se notan algunos puntos importantes. Todos son sitios donde se involucra la contaminación de más de un medio ambiental, de hecho, el sitio más peligroso fue el que contó con mayor número de medios ambientales impactados. En todos se cuenta con evidencia de exposición humana a las sustancias químicas y en ocho de ellos, existe preocupación social. El tamaño de los poblados afectados es variable pero en la gran mayoría también existe contaminación de origen microbiológico. Puede concluirse que este primer grupo de 10 sitios es auténticamente un grupo formado por áreas de alto riesgo. Dentro de los primeros 10 sitios, 5 son agrícolas, 2 están relacionados con cuerpos de agua y 2 más son del ramo minerometalúrgico. El restante es del grupo de las microindustrias. Estos datos indicarían que el mal uso de plaguicidas debe ser atendido con alta prioridad.

Conclusión

Hasta donde pudo investigarse, la experiencia de identificar y priorizar sitios en SLP es la primera que se realiza en México. Existen algunos antecedentes de priorización, pero en dichos ejercicios se tomaron sitios previamente estudiados. Aunado a lo anterior, el caso de SLP sirvió para mejorar la metodología descrita en este capítulo. Los datos generados en San Luis Potosí han servido como instrumento para el desarrollo de la política ambiental en esta entidad. Así, ahora ya existen programas de restauración para cuatro de los diez sitios más peligrosos y un fuerte programa de inspección para los sitios restantes. En otras palabras, cuando una metodología es capaz de transformarse en acciones concretas, ello significa que la metodología funciona. Utilizándola, ahora ya se cuenta con las listas de los Estados de Querétaro y de Baja California.

Capítulo 2. Inspección de sitios peligrosos

La INSPECCION es la fase que sigue a la obtención de un listado de sitios peligrosos. Considerando que los listados por lo general incluyen a un gran número de sitios, se hace necesario el que la inspección sea una fase simple y económica. Pero al mismo tiempo, con la calidad suficiente para concluir con certeza si un sitio está o no contaminado con

sustancias químicas y/o microorganismos patógenos. La fase de INSPECCION comprende cinco actividades: visita al sitio, monitoreo de la contaminación ambiental, selección de contaminantes críticos, análisis preliminar de rutas de exposición y estimación preliminar del riesgo. Al final del ejercicio, se aportan conclusiones y los sitios inspeccionados son calificados para determinar si requieren de un análisis más detallado.

1. VISITA AL SITIO

La visita al sitio que se incluye en la INSPECCION es una visita rápida, de uno a lo máximo dos días. En el caso de que el sitio requiera de estudios más detallados, se pasa a la fase de Evaluación de la Exposición (ver capítulo 3), donde se contempla una visita más completa. En la INSPECCION la visita tiene tres objetivos: (1) describir el sitio; (2) reconocer el tipo de los contaminantes presentes en él; y (3) definir cuales serían los puntos de exposición.

1.1. Descripción del Sitio

En el reporte del documento deben describirse generalidades sobre: la localización del sitio, su demografía (tamaño y distancia de las poblaciones más cercanas), el problema ambiental (breve historia y antecedentes generales) y las principales quejas de la población en torno del problema. La descripción del sitio debe ser breve pero completa.

1.2. Tipos de Contaminantes

Es claro que, sin análisis químicos previos, es difícil determinar con precisión a los contaminantes presentes en el sitio. Pero durante la visita, si pueden definirse con claridad suficiente los tipos de contaminantes; esto es, si se trata de un compuesto inorgánico, de un compuesto orgánico o de un agente microbiano. Para llegar a tal definición, durante la visita al sitio habrá que establecer con la mayor certeza posible, el origen de la contaminación. Las entrevistas con autoridades locales y con la población son de suma importancia para este fin.

1.3. Puntos de Exposición

Los puntos de exposición son los lugares donde la población entra en contacto con los contaminantes (por ejemplo: el grifo para la fuente de agua potable; el suelo en áreas de recreación infantil; los alimentos; etc.). Una buena selección de puntos de exposición es muy importante ya que el muestreo ambiental debe realizarse precisamente en ellos. La relevancia de los puntos de exposición estará determinada por los siguientes tres factores: (1) nivel aparente de contaminación (puntos en zonas contaminadas vs puntos alejados de la fuente de contaminación); (2) número de gente afectada en cada punto (imagine el caso de un poblado rural con un solo grifo de agua de donde se abastece toda la comunidad); y (3) tipo de gente afectada (niños, adultos, ancianos, mujeres en edad reproductiva, etc.). Durante la visita al sitio, el evaluador responsable del estudio también debe definir zonas donde no existan evidencias de la contaminación, ya que en ellas se efectuará la toma de muestras basales (muestras que servirán para establecer el nivel natural de los contaminantes en la zona de estudio).

2. CONTAMINACION AMBIENTAL

En esta sección los objetivos son el muestreo ambiental y la determinación de los contaminantes mediante el análisis químico en el laboratorio.

2.1. Muestreo Ambiental

El muestreo debe realizarse en los puntos de exposición, buscando abarcar al menos, los puntos de mayor importancia según los criterios definidos en la sección anterior. Es de suma importancia que el muestreo se efectúe bajo normas de calidad, por consiguiente, se invita al lector a consultar manuales profesionales de muestreo, como el publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). En el capítulo 3 del presente manual, se expone con mayor detalle los requerimientos para realizar un buen muestreo en cada uno de los diferentes medios del ambiente.

La selección de los medios del ambiente que deben muestrearse en la fase de INSPECCION queda a criterio de cada evaluador. En algunos lugares, deberán tomarse muestras de agua superficial y sedimento, en otros sitios podría bastar con el muestreo de suelo. Cada sitio es particular y por consiguiente, los criterios de uno pudieren no ser aplicables a otro. Sin embargo, el evaluador deberá entender que durante la fase de INSPECCION no se recomienda un muestreo en suma detallado. A pesar de lo cual, en sitios bien definidos como un relleno sanitario, o una industria, el muestreo debe realizarse tanto "dentro" como "fuera" del sitio, con el objeto de investigar la posibilidad de que la contaminación dentro del sitio haya impactado los ambientes vecinos.

En todos los casos, sin embargo, es importante recordar la necesidad de obtener muestras basales. Estas serían muestras colectadas gradiente arriba e en contra de la dirección predominante de los vientos del foco contaminante. Habrá zonas, como las regiones mineras, donde habrá que tener cautela al momento de definir el punto basal, ya que los yacimientos de minerales podrían extenderse más allá de la mina y un punto que pudiéser considerado como basal, podría resultar con alto contenido de metal por el impacto del yacimiento mismo y no por la actividad minera (especial atención merecerían en estos casos, los acuíferos y los suelos).

2.2. Análisis Ambiental

Para la discusión sobre este punto, debe tenerse muy claro el concepto de INSPECCION. Es decir, debe entenderse que se requiere investigar un gran número de sitios en el menor tiempo posible y sin utilizar herramientas que impliquen un sacrificio económico. Pero al mismo tiempo se exige calidad y precisión. ¿Cómo lograr este balance en sitios para los cuales se carece de información suficiente?

En todos los sitios se encontrarán tres tipos posibles de contaminación: por compuestos inorgánicos, por compuestos orgánicos y por contaminantes biológicos (microorganismos).

Con referencia a los compuestos inorgánicos habrá que centrarse principalmente en metales y minerales no metálicos. En nuestra experiencia bastaría con determinar a los elementos tóxicos más frecuentes, por ejemplo: cromo, cadmio, mercurio, manganeso, níquel, plomo, arsénico y flúor. Pero en algunos sitios podría presentarse contaminación por elementos no incluidos en esta lista, como podrían ser cobre, cobalto, bario, etc. Tal incertidumbre se termina si una de las muestras se analiza mediante la espectrometría de emisión por plasma con el fin de obtener un "barrido" de todos los metales. Conociendo los metales más abundantes, el resto de las muestras puede analizarse por métodos más económicos como la espectrofotometría de absorción atómica. En muchos sitios no habrá necesidad de cuantificar a todos los metales, sino tan sólo a los más importantes según su concentración y toxicidad. Una alternativa analítica podrían ser los métodos colorimétricos. Esta alternativa es válida siempre y cuando el laboratorio que realice dichos métodos cuente con parámetros de control de calidad, incluidas las posibles interferencias analíticas debidas a la presencia de otras sustancias.

Sobre los compuestos orgánicos el análisis es más complicado ya que éstos comprenden cuando menos a tres grandes grupos: los volátiles, los semivolátiles y los compuestos polares. Para lo cual se requiere de un laboratorio que tenga al menos cromatógrafos de gases (con accesorios como purga y trampa, "headspace", detector de masas, detector de captura de electrones, etc.) y cromatógrafos de líquidos con sus propios detectores (fluorescencia, ultravioleta, etc.). Asimismo, el análisis cuantitativo es sumamente costoso por el precio de los insumos que se requieren no solo para el análisis mismo (columnas, gases, etc.), sino también para la preparación de la muestra (elementos para la extracción). Es decir, se requiere de un laboratorio equipado y con apoyo económico importante. Puntos que podrían no cumplirse en una fase de INSPECCION (sobre todo el referente al apoyo económico). Por consiguiente, deben buscarse alternativas, una de ellas sería realizar análisis cuantitativos solamente de los compuestos más importantes para el sitio en estudio. Otras alternativas serían el empleo de los métodos "ELISA" donde se utilizan anticuerpos específicos contra un compuestos en particular (estos métodos tienen la ventaja de que no requieren un cromatógrafo, pero tienen dos desventajas, una es que el anticuerpo comercial es costoso y otra es que algunos métodos dan reacción cruzada entre compuestos semejantes). Cada laboratorio deberá analizar los compuestos orgánicos de acuerdo a sus posibilidades técnicas y económicas, recordando que independientemente del método seleccionado, los análisis deberán cumplir criterios de calidad.

En cuanto a los contaminantes microbiológicos, el análisis de agua y alimentos es accesible dado que existen numerosos métodos tanto para bacterias como para parásitos. El punto se complica en suelo. Para este medio ambiental la información metodológica sobre análisis de microorganismos patógenos para el hombre es limitada. Otro punto clave en cuanto a estudios microbiológicos, es la detección de virus. Los análisis para estos agentes biológicos por lo general son costosos. De nueva cuenta, queda a criterio de los laboratorios definir, si en la fase de INSPECCION, es indispensable el estudio de suelo y/o de elementos virales en los sitios peligrosos. En todos los casos la información microbiológica deberá completarse con datos recopilados en el centro de salud más cercano al sitio en estudio.

Es importante recordar que en el reporte final, la información obtenida se debe presentar en textos y en gráficos (figuras, tablas, etc.). La información deberá contener al menos con los siguientes puntos: diseño y representatividad del muestreo, medio del ambiente analizado, fecha de muestreo, localización de los puntos de muestreo y las concentraciones encontradas en los medios analizados.

3. SELECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS

La relevancia de los contaminantes podría ser determinada comparando su concentración contra valores de referencia. El evaluador podría emplear valores nacionales como las normas que rigen en el país, o podría utilizar referencias internacionales como las de la Organización Mundial de la Salud, las de la Comunidad Económica Europea, etc. No obstante lo anterior, es importante resaltar que para algunos contaminantes y para algunos medios, es muy difícil obtener un valor de referencia; por lo tanto, a fin de estimar la importancia de los contaminantes, se comparará su concentración contra un valor de referencia denominado Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG por sus siglas en inglés). Estos valores EMEG han sido propuestos por la ATSDR.

Es importante aclarar que la EMEG no es una norma ambiental, su única función es servir como referencia para definir los contaminantes críticos del sitio. El uso de la EMEG se fundamenta en el hecho de que para su cálculo se toma en cuenta la dosis a la cual el contaminante no causa daño alguno (MRL de la ATSDR o RfD de la EPA -Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos-). Así, la EMEG se convierte en una guía ambiental de máxima seguridad y por lo tanto, un contaminante cuya concentración en el ambiente supere a la EMEG en cualquiera de los medios, deberá ser sujeto de un análisis toxicológico. Un contaminante que no rebese a la EMEG en alguno de los medios analizados, podría ser eliminado (sin embargo, ver más adelante) .

El cálculo de la EMEG se obtiene multiplicando la dosis de riesgo mínimo de la ATSDR (MRL) o la dosis de referencia de la EPA (RfD) por el peso corporal y dividiendo el producto entre la tasa de ingestión diaria de agua, suelo o polvo.

$$\text{EMEG} = \frac{\text{MRL} \quad \text{ó} \quad \text{RfD} \quad (\text{mg/kg/día}) \quad \times \quad \text{PC} \quad (\text{kg})}{\text{TI} \quad (\text{kg} \quad \text{ó} \quad \text{L/día})}$$

MRL o RfD	La información sobre la RfD de cada sustancia puede obtenerse del banco de datos IRIS del sistema TOXNET; en tanto el MRL puede obtenerse de la bibliografía publicada por ATSDR.
PC	Peso corporal = 10 kg infante, 14 kg niño (3-6 años) ó 70 kg adulto.
TI	Tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro niño y 2 litros adulto. Tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg niño y 50 mg adulto.

Tasa de ingestión diaria de polvo = 35 mg niño y 5 mg adulto. (Al no existir un valor confiable en la literatura, para el cálculo de la ingesta de polvo, se utilizó un factor de incertidumbre de 10 con el factor de ingesta de suelo).

Note que para el cálculo de la EMEG. no se han utilizado factores de exposición como el índice de biodisponibilidad. Por lo tanto, la EMEG es un factor conservador ya que busca prevenir el máximo riesgo. No obstante, por esta precisa razón la EMEG no debe utilizarse como norma ambiental.

FUNDAMENTOS PARA DEFINIR A LOS CONTAMINANTE CRITICOS

1. Que su concentración en alguno de los medios del ambiente supere a la EMEG o al valor de referencia empleado; y/o
2. Que sea causa de preocupación social.

Otros factores de decisión que pudieran ser considerados para definir a un contaminante como crítico serían: (1) ser un tóxico persistente; (2) tener efecto aditivo con otro de los tóxicos presentes en el sitio; y (3) que exista evidencia de una exposición a él.

notas :

La EMEG para aire es igual al valor de RfD o MRL.

SOLO LOS CONTAMINANTES CRITICOS SERAN SUJETOS DEL ANALISIS PRELIMINAR DE LAS RUTAS DE EXPOSICION Y DE LA ESTIMACION PRELIMINAR DEL RIESGO.

4. ANALISIS PRELIMINAR DE LAS RUTAS DE EXPOSICION

Una vez seleccionados los contaminantes críticos, el evaluador debe estimar la posibilidad de que dichos contaminantes se encuentren o puedan encontrarse en un futuro, en otros medios del ambiente. Para efectuar este ejercicio teórico, hay que tomar en cuenta los principios fisicoquímicos de cada sustancia. Con ellos podrá determinarse la capacidad de transporte de las sustancias a través de los medios y por consiguiente podrá definirse su destino ambiental. La evaluación de los mecanismos de transporte es muy importante para determinar la posibilidad de contaminación potencial más allá de las áreas muestreadas y define la necesidad de efectuar estudios adicionales de muestreo ambiental.

En general, el transporte ambiental involucra los movimientos de gases, líquidos y partículas sólidas, dentro de un medio determinado y a través de interfaces entre aire, agua, sedimento, suelo, plantas y animales. Cuando una sustancia es emitida al ambiente, uno o más de los siguientes eventos pueden ocurrir:

* movimiento	(en agua, en sedimento suspendido, etc.);
* transformación física	(volatilidad, lluvia, etc.);
* transformación química	(fotólisis, hidrólisis, oxidación/reducción, etc.);
* transformación biológica	(biodegradación, etc.) y/o;
* acumulación en uno o más medios	(incluyendo el medio originalmente contaminado).

Los mecanismos de transporte y el destino de los contaminantes usualmente pueden simplificarse en cuatro categorías básicas:

1. Emisión .. es el escape o descarga de material contaminado desde la fuente.
2. Advección .. representa la migración del contaminante en sentido del movimiento del medio (por ejemplo: migración en la dirección de la corriente de un arroyo, migración en la dirección de los vientos predominantes, migración por el lavado de los suelos por corrientes superficiales, etc.).
3. Dispersión .. es la distribución de contaminantes en un líquido, gas o sólido debido a la colisión del contaminante con material presente en dichas fases.
4. Atenuación .. es la disminución de la cantidad del contaminante en el medio ambiental por fenómenos de degradación ó de adsorción a elementos del propio medio.

Un evaluador debe buscar la contestación a las siguientes interrogantes:

- * ¿A qué velocidad están entrando los contaminantes al medio? (emisión)
- * ¿A donde se dirigen los contaminantes y que tan rápido estan migrando? (advección)
- * ¿Cuál es el grado de degradación de los contaminantes mientras están migrando? (atenuación)
- * ¿Los contaminantes migrarán a otros medios? (transferencia entre medios)

4.1. Factores Químicos que Afectan el Destino y Transporte de los Contaminantes.

El evaluador debe considerar factores de naturaleza química que podrían influir en el transporte del contaminante. Algunos de ellos se discuten en los siguientes párrafos.

Solubilidad en Agua .. Los químicos muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad a los suelos y por lo tanto, son rápidamente transportado desde el suelo contaminado hasta los cuerpos de agua superficial y/o profunda. La solubilidad también afecta la volatilidad desde el agua. Por ejemplo, los químicos muy solubles en agua tienden a ser menos volátiles y también muy biodegradables.

Constante de la Ley de Henry (H) .. Cuando la presión de vapor es alta con respecto a su solubilidad en agua, la constante de la ley de Henry también es alta y el químico preferentemente se evaporará al aire. Un alto valor para la constante de la ley de Henry de un contaminante podría sugerir que la inhalación sería la vía de exposición.

Coefficiente de Partición de Carbono Orgánico (Koc) .. Un Koc alto indica que el químico orgánico se fija con firmeza a la materia orgánica en el suelo por lo que poca cantidad del compuesto se mueve a las aguas superficiales o a los acuíferos. Un bajo Koc sugiere la posibilidad de que el químico puede moverse a los cuerpos de agua.

RANGOS DE LA CONSTANTE DE LA LEY DE HENRY

Volatilidad	Rangos del Valor (atm m ³ /mol)
No volátil	menor que 3×10^{-7}
Baja volatilidad	3×10^{-7} a 1×10^{-5}
Volatilidad moderada	1×10^{-5} a 1×10^{-3}
Alta volatilidad	mayor que 1×10^{-3}

RANGOS DEL Koc (ml/g carbono orgánico)

Adsorción a Suelo	Valores del Coeficiente
Muy débil	< a 10
Débil	10 a 100
Moderada	100 a 1000
De Moderada a Fuerte	1000 a 10,000
Fuerte	10 mil a 100,000
Muy Fuerte	> a 100,000

Coefficiente de Partición Octanol/Agua (Kow) .. Los compuestos químicos con valores altos de Kow tienden a acumularse en las porciones lipídicas de los organismos y tienden a concentrarse en suelos y sedimentos (compuestos con un LogKow > 3 ó > 1000). Además, esta clase de compuestos pueden transferirse a los humanos a través de la cadena alimenticia. Por el contrario, los químicos con bajos Kow tienden a distribuirse en agua o aire. Ejemplo de ello son los compuestos orgánicos volátiles, tales como el tricloroetileno y el tetracloroetileno, estos compuestos se distribuyen con amplitud en el aire y la vía de exposición a través de la cadena alimenticia es de menos importancia que otras vías, tales como la inhalatoria.

Factor de Bioconcentración (FBC) .. Este factor es determinado dividiendo la concentración al equilibrio de un compuesto químico en un organismo o tejido (como el tejido de un pescado) entre la concentración del mismo compuesto en un medio externo (como el agua donde habitaba dicho pescado). En general, los químicos que tienen un alto valor de Kow tienen una alto FBC. Sin embargo, algunos compuestos como los hidrocarburos aromáticos, no se acumulan en peces y vertebrados a pesar de su alto Kow.

Esto se debe a que los peces tienen la habilidad de metabolizar rápidamente a dichos compuestos. Por otro lado, la Biomagnificación es un concepto que se utiliza cuando un organismo en un nivel trófico superior es capaz de acumular mayor cantidad de contaminante que un organismo de la misma cadena alimenticia ubicado en un nivel trófico inferior.

Velocidad de Transformación y de Degradación .. Este factor toma en cuenta los cambios físicos, químicos y biológicos de un contaminante a través del tiempo. La transformación es influenciada por la hidrólisis, la oxidación, la fotólisis y la degradación microbiana. En tanto la Biodegradación es la ruptura de compuestos orgánicos por la actividad biológica, la mayoría de las veces por actividad microbiana. Es difícil calcular con precisión las velocidades de transformación química y degradación. Su aplicación también se dificulta, ya que todo ello depende de variables físicas y biológicas específicas del sitio de estudio.

4.2. Factores del Sitio de Estudio que Influyen en el Destino y Transporte de los Contaminantes.

Cuando se están identificando las posibles rutas de transporte, el evaluador debe considerar también, los factores específicos del sitio de estudio que pudieran influir en el transporte de los contaminantes. Cada sitio es único y debe ser evaluado a fin de determinar las características que podrían incrementar o disminuir la migración de los contaminantes de importancia. Muchos de los factores que afectan el transporte dependen de las condiciones climáticas y de las características físicas del sitio. Algunos de estos factores son discutidos en los siguientes párrafos.

Índice de Precipitación Anual .. Este dato puede ser muy útil para determinar: la cantidad de arrastre de suelo por corrientes superficiales, los promedios de recarga de acuífero y/o el contenido de humedad en suelos. Un alto índice anual de precipitación en un sitio contaminado con un contaminante muy hidrosoluble, ocasionaría una importante migración. Además, la precipitación es un fenómeno de atenuación para el aire ya que remueve las partículas y vapores solubles de la atmósfera.

Condiciones de Temperatura .. Afectan el índice de volatilidad de los contaminantes. Aunado a ello, la temperatura terrestre también afecta el movimiento de los contaminantes, por ejemplo, una zona congelada retarda el movimiento.

Velocidad y Dirección de los Vientos .. Influyen en el índice de generación de polvos fugitivos. Durante los periodos de estabilidad atmosférica, la sedimentación gravitacional actuará para redepositar las partículas o gotas suspendidas.

Características Geomorfológicas .. Estas pueden jugar un rol muy importante en la velocidad de las corrientes de agua, el volumen y el índice de arrastre de suelo por corrientes superficiales ó por fenómenos de erosión. Los terrenos sobre piedras calizas pueden incrementar las conexiones hidrológicas entre cuerpos de agua superficiales y acuíferos.

Características Hidrogeológicas .. Los tipos y la localización de acuíferos, son importantes para determinar el peligro que el sitio representa para las fuentes de agua potable.

Canales de Aguas Superficiales .. Los canales y sus crecidas cerca del sitio también pueden afectar la magnitud de la migración de los contaminantes.

Características del Suelo .. Deben considerarse los siguientes parámetros: configuración, composición, porosidad, permeabilidad, capacidad de intercambio catiónico y cubierta vegetal. Estos influyen en los índices de percolación, recarga de acuíferos, lixiviado de contaminantes y transporte. La información de los niveles basales de metales, compuestos orgánicos y pH en suelos del área, es necesaria para delimitar la zona contaminada.

Flora y Fauna .. La flora y fauna pueden ser usados por el hombre como fuente alimenticia y por lo tanto, de esta manera se facilitaría la exposición humana.

Obras Públicas .. Las alcantarillas o los canales de drenaje pueden facilitar el movimiento de contaminantes. Asimismo, un pozo mal construido puede causar contaminación entre acuíferos.

5. ESTIMACION PRELIMINAR DEL RIESGO

El método para la estimación preliminar del riesgo que se expone a continuación se basa en la metodología de estimación de riesgo desarrollado en los Estados Unidos. En su planteamiento original la metodología consiste en cuatro fases iniciales, a las cuales, se le ha adicionado una quinta para enfatizar aspectos que podrían modificar el riesgo en salud.:

1. Identificación del Contaminante.
2. Análisis Dosis-Respuesta.
3. Estimación de la Exposición.
4. Caracterización del Riesgo.
5. Factores asociados al riesgo (incluidos microbiológicos).

5.1. Identificación del Contaminante

En esta sección se resume la información sobre los contaminantes presentes en el sitio. En la INSPECCION deberán contestarse las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la ruta de exposición más importante en el sitio ?
- ¿ Cuáles son los contaminantes críticos que se han detectado en dicha ruta ?
- ¿ Existe la posibilidad de que los contaminantes se transporten de un medio a otro ?
- ¿ Cómo se da la exposición a los contaminantes (frecuencia, duración, etc.) ?
- ¿Cuál es la población en riesgo (niños, adultos, mujeres embarazadas, etc.)?
- ¿ Cuáles son los efectos tóxicos de los contaminantes críticos ?

Además de las respuestas a las anteriores interrogantes, en esta fase de INSPECCION debe incluirse una clasificación de los contaminantes identificados, según su grado de

Toxicidad y de Persistencia en el ambiente. Según su toxicidad las sustancias químicas pueden clasificarse como sustancias no tóxicas, y sustancias con toxicidad ligera, moderada ó severa. Según su persistencia las sustancias pueden clasificarse como no persistentes, persistentes, algo persistentes y altamente persistentes (ver cuadros de toxicidad y persistencia en la sección de anexos).

5.2. Análisis Dosis-Respuesta

A través de diferentes investigaciones, la EPA ha definido una serie de *dosis de referencia* (RfD) para diferentes sustancias químicas. De la misma manera, la ATSDR ha definido las *dosis de riesgo mínimo* (MRL). Ambas clasificaciones de dosis implican que a estos niveles las sustancias químicas no son nocivas; es decir, un contaminante a una dosis similar a la RfD o a la MRL no deberá representar un riesgo para la gran mayoría de los individuos.

La RfD y la MRL son dosis teóricas que han sido generadas a través de curvas dosis-respuestas. Tanto la RfD como la MRL se han obtenido a partir de considerar el efecto adverso que se presenta a la menor dosis de exposición. Si una sustancia causa varios efectos, sólo el que se presenta a la menor dosis es considerado para el cálculo de la RfD o del MRL. Es importante recordar que por lo limitado de los estudios científicos, para algunas sustancias no se han calculado las RfD ó MRL. El evaluador deberá obtener información de la RfD a partir del banco de datos IRIS (banco de información de la EPA) y deberá obtener información del MRL a partir del banco de datos de la ATSDR. La información numérica generalmente se acompaña de los estudios que originaron la dosis de referencia o la dosis de riesgo mínimo. Es decir, junto al valor de la dosis se puede obtener información sobre el efecto seleccionado para su cálculo.

Una vez con estos datos, el evaluador deberá hacer esfuerzos para obtener la **NOAEL** (dosis experimental a la cual no se ha observado efecto adverso alguno para el padecimiento seleccionado) y la **LOAEL** (mínima dosis experimental a la cual ya se observó algún efecto). La NOAEL y la LOAEL pueden obtenerse revisando la literatura científica (los "Perfiles Toxicológicos" de la ATSDR son excelentes para este fin y los documentos del banco de datos IRIS que justifican el cálculo de las RfD también trae información útil). Al final el evaluador tendrá tres dosis en mg/kg/día, las cuales deberán ser para la misma vía (oral, dérmica o inhalatoria) y para el mismo efecto o padecimiento :

La RfD y/ó MRL , dosis de seguridad a la cual no debe haber efecto alguno.
La NOAEL, dosis a la cual no se ha observado efecto alguno.
La LOAEL, dosis mínima a la cual ya se observó algún tipo de efecto.

5.3. Estimación de la Exposición

Como el título lo indica, en esta sección se busca conocer de forma aproximada la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto. La estimación se obtiene a través de fórmulas que se explican más adelante. Es importante recordar que para la fase de INSPECCION se ha decidido no efectuar estudios analíticos en aire por el tiempo que implica un buen muestreo. Por lo tanto, la estimación de la exposición a contaminantes en aire solo se efectuará cuando se cuente con datos confiables de otras

fuentes. En caso contrario, una de las recomendaciones surgidas del estudio de inspección podría ser la instrumentación de un estudio monitoreo de aire.

Para estimar la exposición se siguen algunas reglas simples:

1. Considerar solo a los medios ambientales para las cuales existan datos analíticos confiables.
2. Anotar las concentraciones mínima, máxima y promedio del contaminante crítico para el medio ambiental seleccionado.
3. Analizar cual es la vía de exposición para la ruta crítica (ingesta para suelo, polvo, alimento y agua; inhalación para aire; dérmica para orgánicos; etc.).
4. Definir cual es el grupo poblacional de mayor riesgo en el sitio.

Es importante establecer tres dosis, la dosis mínima empleando el valor mínimo de concentración ambiental del contaminante en el medio seleccionado; la dosis máxima, empleando el nivel máximo y la dosis promedio, utilizando medidas como la media aritmética de la concentración del contaminante en el medio ambiental.

En las hojas siguientes se presentan algunos ejemplos tomados del MANUAL DE RIESGOS EN SALUD POR LA EXPOSICION A RESIDUOS PELIGROSOS, de la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (la traducción en español puede obtenerse a través del Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud).

PARAMETROS PARA LA ESTIMACION DE LA EXPOSICION

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

Dosis	es la dosis de exposición que esta estimándose.																				
Conc.	es la concentración del contaminante en el medio ambiental seleccionado																				
TI	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">tasa de ingestión diaria de agua</td> <td style="padding: 2px;">=</td> <td style="padding: 2px;">1 litro niño</td> <td style="padding: 2px;">2 litros adulto</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">tasa de ingestión diaria de suelo</td> <td style="padding: 2px;">=</td> <td style="padding: 2px;">350 mg niño</td> <td style="padding: 2px;">50 mg adulto</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">tasa ingestión diaria de polvo</td> <td style="padding: 2px;">=</td> <td style="padding: 2px;">35 mg niño</td> <td style="padding: 2px;">5 mg adulto</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">tasa de inhalación diaria de aire</td> <td style="padding: 2px;">=</td> <td style="padding: 2px;">3.8 m³ infante</td> <td style="padding: 2px;">15 m³ niño</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="padding: 2px;">21 m³ mujer</td> <td style="padding: 2px;">23 m³ hombre</td> </tr> </table> <p style="margin-top: 10px;">[para el caso de suelo y polvo la DI deberá multiplicarse por 1x10⁻⁶ kg/mg]</p> <p>en el caso de los alimentos, mediante cuestionario a levantarse entre la población expuesta, se obtendrá información sobre el tipo de alimento, frecuencia de ingesta, cantidad consumida y método de preparación culinaria; no existen valores estándares ya que las costumbres pueden variar de manera importante de región a región.</p>	tasa de ingestión diaria de agua	=	1 litro niño	2 litros adulto	tasa de ingestión diaria de suelo	=	350 mg niño	50 mg adulto	tasa ingestión diaria de polvo	=	35 mg niño	5 mg adulto	tasa de inhalación diaria de aire	=	3.8 m ³ infante	15 m ³ niño			21 m ³ mujer	23 m ³ hombre
tasa de ingestión diaria de agua	=	1 litro niño	2 litros adulto																		
tasa de ingestión diaria de suelo	=	350 mg niño	50 mg adulto																		
tasa ingestión diaria de polvo	=	35 mg niño	5 mg adulto																		
tasa de inhalación diaria de aire	=	3.8 m ³ infante	15 m ³ niño																		
		21 m ³ mujer	23 m ³ hombre																		

FE	factor de exposición; incluye datos de biodisponibilidad, absorción y/ó temporalidad. Los datos
-----------	---

Estimacion de Dosis de Exposicion

Ejemplo 1 Agua :

Considere la exposición humana a una fuente primaria de abastecimiento de agua que está contaminada con 350 mg/L de cloruro de metilo. Para calcular la dosis de exposición en adultos, asuma un peso corporal de 70 kg.

$$ID_{\text{dag}} = \frac{C \times TI \times FE}{PC} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/día} \times 1}{70 \text{ kg}} = 10 \text{ mg/kg/día}$$

Para niños asuma un peso corporal de 10 kg.

$$ID_{\text{dag}} = \frac{C \times TI \times FE}{PC} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/día} \times 1}{10 \text{ kg}} = 35 \text{ mg/kg/día}$$

Ejemplo 2 Suelo :

Considere el escenario de exposición a un suelo contaminado con una concentración de 100 mg/kg de algún químico. El índice de ingesta en adultos es de 50 mg/día. Asuma que los individuos se encuentran expuestos durante 5 días a la semana, durante 50 semanas al año por un espacio de 30 años.

Primero calcule el factor de exposición :

$$FE = \frac{\text{(frecuencia de exposición)}}{\text{(tiempo de exposición)}}$$

$$FE = \frac{(5 \text{ d/semana}) \times (50 \text{ semanas/año}) \times (30 \text{ años})}{(7 \text{ d/semana}) \times (52 \text{ semanas/año}) \times (70 \text{ años})} = \frac{7500}{25480} = 0.29$$

$$ID_s = \frac{C \times TI \times FE \times 10^{-6}}{PC} = \frac{100 \text{ mg/kg} \times 50 \text{ mg/día} \times 0.29 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}}{70 \text{ kg}} = 2 \times 10^{-5} \text{ mg/kg/día}$$

Nota : Para la evaluación de riesgo en salud, en algunos casos deberá incluirse un factor que considere la biodisponibilidad de la sustancia. Advierta el uso del factor de 1×10^{-6} kg/mg para ordenar las unidades

5.4. caracterizacion del Riesgo

La caracterización de riesgo puede calcularse para efectos cancerígenos y para efectos no cancerígenos. En ambos casos, primero se calcula el riesgo individual y después se procede a estimar el riesgo poblacional.

Caracterización del Riesgo Cancerígeno :

Se utiliza un factor denominado: Factor Potencial de Cáncer (CPF) u otro factor denominado Unidad de Riesgo (UR). El CPF es una dosis (mg/kg/día)⁻¹ y la UR es una concentración (mg/kg o mg/m³)⁻¹.

Para calcular el riesgo de cáncer asumiendo dosis:

1. Se estima la dosis de exposición para adulto y se obtiene un valor en mg/kg/día.
2. La dosis se multiplica por el CPF y así se obtiene el riesgo individual (considerar los factores de exposición; por ejemplo si un trabajador solamente estuvo expuesto por dos años al cancerígeno, el producto de la multiplicación dosis x CPF se multiplica luego por 2/70).
3. El riesgo individual se multiplica por el total de la población (incidencia de cáncer).

Por ejemplo:

1. Suponga que para el contaminante H2 se calculó una dosis de 3×10^{-3} mg/kg/día y la literatura indica que el CPF para el H2 es de 2×10^{-2} mg/kg/día⁻¹.
2. Multiplicando dosis por CPF se obtendría un riesgo individual de 6×10^{-5} , lo cual indica una probabilidad individual de 6 casos de cáncer en 100,000 individuos.
3. Si ahora se multiplica el 6×10^{-5} por una población que hipotéticamente tenga 5 millones de habitantes, [$(6 \times 10^{-5}) (5 \times 10^6)$], se tendría un riesgo de 300 nuevos casos de cáncer en dicha población por la presencia del contaminante H2.

Para caracterizar el riesgo cancerígeno utilizando la UR se procede de la misma forma solo que en lugar de utilizar la dosis, se empleará la concentración ambiental del contaminante. Por supuesto que debe utilizarse la UR indicada para el medio ambiental que se desea evaluar. El valor que se obtenga de la multiplicación (concentración ambiental x UR) deberá multiplicarse por el total de la población para obtener el riesgo poblacional. Los factores CPF y UR han sido estimados para unas cuantas sustancias y pueden obtenerse del banco de datos IRIS o de la información bibliográfica distribuída por la ATSDR.

Caracterización del Riesgo NO Cancerígeno

En la práctica no todos los contaminantes son cancerígenos. Por lo tanto, para este tipo de contaminantes la caracterización del riesgo consiste en tres elementos.

1. Severidad del Efecto en Salud.
2. Relación Dosis Estimada/RfD (ó MRL) = Riesgo individual
3. Población expuesta.

La **severidad del efecto** puede clasificarse como : catastrófico, serio ó adverso. El *efecto catastrófico* es aquél que pone en riesgo la vida (por ejemplo, efecto letal, daño cardiaco, invalidez, retardo mental, desorden hereditario, osificación anormal). El *efecto serio* es aquél que sin poner en riesgo la vida si causa un problema de salud (por ejemplo, función alterada de órganos, daño neurológico, efecto en el comportamiento, aborto, infertilidad, etc.). El *efecto adverso* es aquél que no puede definirse directamente como una enfermedad pero sí como una alteración (por ejemplo, bajo peso al nacer, actividad enzimática disminuída, hiperplasia o hipertrofia de tejidos, irritación de ojos ó piel, alteración reversible del funcionamiento orgánico, etc.).

La **relación dosis/RfD** (ó MRL) es un factor que resulta de dividir la dosis estimada entre la dosis de referencia (EPA) o la dosis de riesgo mínimo (ATSDR). Significaría que entre más alto sea este factor habrá mayor riesgo individual de contraer un padecimiento determinado. Aunado a ésto, la dosis estimada puede ser también comparada contra la NOAEL o la LOAEL.

A diferencia de la caracterización del riesgo cancerígeno, en ésta, el riesgo individual no se multiplica por el tamaño de la población expuesta ya que la relación dosis-respuesta no es lineal para todas las sustancias. Por lo tanto, en la caracterización de riesgo no cancerígeno el **tamaño de la población** solo se apunta como un factor a considerar en la evaluación final.

5.5. Factores Asociados al Riesgo

En todos los sitios existen factores poblacionales, geográficos, climáticos, etc. que pueden alterar la exposición al contaminante o la toxicidad de éste. Tales factores deben anotarse en esta sección con una discusión de su significado. Para el caso de naciones en vías de desarrollo existe un factor que deberá considerarse en todas las situaciones: este es el factor nutricional. La desnutrición debilita las defensas naturales. Además se ha descrito mayor absorción de algunos metales en individuos con dietas pobres en fierro, calcio o proteínas. Otro factor a considerar siempre es el de las enfermedades microbianas (la racional de su uso ya fue discutida en la INTRODUCCION de este manual). Datos sobre nutrición y enfermedades microbianas deberán ser capturados mediante entrevistas con personal médico de la localidad. Asimismo, para el caso de los datos microbiológicos se tomará en cuenta el resultado del análisis levantado en la sección de CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

5.6. Análisis Final

Al final, el evaluador deberá contar con información de tres fuentes (A) la obtenida a partir de la caracterización del riesgo; (B) la obtenida al evaluar los factores asociados al riesgo; y (C) los antecedentes bibliográficos sobre toxicidad y comportamiento de los contaminantes. Con toda esta información deberá procederse a generar un esquema del riesgo. Es muy importante que en uno o dos párrafos el evaluador pueda presentar una panorámica global del problema. Para ello son relevantes los números, pero igual de importantes son los datos cualitativos. Debe generarse una evidencia del riesgo, cuyo sustento, lo va a dar el peso de la información en su conjunto. Por ejemplo, los datos experimentales sobre toxicidad, que todavía no han sido corroborados en humanos, podrían ser útiles a partir del uso del principio precautorio. Se reitera: el evaluador deberá tomar en cuenta a toda la información en su conjunto y no deberá basarse solamente en una línea de investigación.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al menos para cada sección deberá establecerse una conclusión y de ser necesario una recomendación sobre medidas o programas que pudiesen establecerse para disminuir la exposición a los contaminantes y por consiguiente el riesgo en salud. Una recomendación siempre útil es que en los sitios se organicen procedimientos para comunicar el riesgo a la población. Aclarando en todo momento, las limitaciones y los alcances reales de la fase de INSPECCION.

7. CALIFICACION DE LOS SITIOS

Los datos que se obtienen de la INSPECCION sirven para calificar al sitio según el formato que se adjunta en el anexo 2. De acuerdo a su puntuaje los sitios podrán ser clasificados en alguna de las siguientes tres categorías:

1. Urgencia Ambiental y de Salud Pública (75 a 100 puntos) .. El sitio requiere restauración inmediata y deberían generarse en el corto plazo, datos sobre la Evaluación de la Exposición.
2. Riesgo Ambiental y de Salud Pública (40-74 puntos) .. El sitio requiere de una Evaluación de la Exposición. Los resultados de dicho análisis determinarán el nivel de intervención que se requiera para la restauración del área estudiada.
3. Mínimo Riesgo Ambiental y de Salud Pública (0-39 puntos) .. El sitio no requiere un análisis más profundo. Sin embargo, se instrumentará un programa de vigilancia ambiental para evitar un riesgo futuro.

Capítulo 3. Evaluación de la exposición en sitios peligrosos

Esta parte de la metodología tiene como objetivo reunir la información necesaria para definir el nivel de exposición a los contaminantes en la población de un sitio peligroso. La evaluación de la exposición se compone de diez fases : antecedentes del sitio, contaminación ambiental, selección de contaminantes críticos, análisis de rutas de

exposición, estimación del riesgo en salud, evaluación de biomarcadores de exposición, estudio de biomarcadores nutricionales, análisis microbiológico, análisis de datos estadísticos de salud y conclusiones acompañadas de recomendaciones.

La Evaluación de la Exposición que aquí se propone, representa una modificación del método para la Evaluación de Salud descrito por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de las Enfermedades (ATSDR). Por consiguiente, se invita al lector a revisar el manual correspondiente (una traducción al español de este manual puede ser adquirido a través de los servicios de la Organización Panamericana de la Salud).

I. ANTECEDENTES DEL SITIO

1. DESCRIPCION DEL SITIO

La información debe buscarse en diversas fuentes, incluyendo las oficiales, las universitarias, las de consultorías privadas, etc. Durante la visita al sitio (ver más adelante), podrá corroborarse o completarse la información obtenida.

1.1. Nombre del sitio .. Deben incluirse el nombre oficial y la denominación popular.

1.2. Ubicación del sitio .. La información de este punto deberá complementarse anexando un mapa donde claramente se señale la localización y el área de influencia del sitio. Siempre es importante referir la ubicación a un punto geográfico conocido, como una ciudad, un río, etc.

1.3. Tipo de sitio .. Exponer la descripción que mejor se acerque a la realidad del sitio. Por ejemplo: campo agrícola; zona minera; área industrial; microindustria (especificando el tipo); depósito no controlado (de residuos sólidos o líquidos, de residuos industriales, urbanos, hospitalarios, etc.); área impactada por contaminación natural (especificando); etc.

1.4. Información oficial sobre los tóxicos presentes en el sitio .. 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 incluya datos que permitan establecer la calidad y por ende, la confiabilidad de la misma. En caso de no contarse con esta información, el evaluador deberá anotarlo en su reporte.

1.5. Descripción del proceso contaminante ó del origen de la contaminación .. Al respecto es importante considerar que en algunos casos el origen de la contaminación se encuentra alejada del sitio. Por ejemplo, el origen de la contaminación de un lago puede estar gradiente arriba de algún río afluente de él.

1.6. Actividades que se desempeñan en el sitio .. Deberán incluirse las actividades económicas (industriales, comerciales, agropecuarias, etc.) y las actividades recreativas (natación en ríos, cacería, campos deportivos, etc.). Para la evaluación de la exposición se requiere que las actividades incluyan temporalidad (por ejemplo, en épocas de vacaciones, sólo los fines de semana, ocho horas diarias, etc.). A fin de estimar el riesgo de la

exposición a los residuos, es necesario describir los usos del suelo pasados, presentes y futuros (zona industrial, residencial, comercial, recreativa, agrícola, etc.).

1.7. Descripción de barreras que impidan el acceso al sitio .. El libre acceso al área contaminada permite la exposición de la población a las sustancias químicas. Por ejemplo, en un lugar donde hubiese residuos industriales almacenados en tambos, los pobladores podrían entrar en contacto con los residuos al utilizar dichos tambos para almacenar agua potable.

2. HISTORIA DEL SITIO

Esta sección tiene como objetivo la recopilación de información para contestar tres preguntas:

- ¿Cuál es el origen de la contaminación ?
- ¿Desde cuándo existe la contaminación en el sitio ?
- ¿La contaminación ha sido siempre la misma ?
- ¿Desde cuándo ha ocurrido la exposición humana a los contaminantes ?

2.1. Inicio de operaciones de la fuente contaminante o de la contaminación .. Probablemente en algunas ocasiones, la fecha de los eventos deberá obtenerse de entrevistas efectuadas con pobladores del lugar; en caso de que así ocurra, deberá verificarse la fecha mediante entrevistas con dos o más personas independientes.

2.2. Eventos desde el inicio de operación (y/o de la contaminación) .. Deberán registrarse todos los acontecimientos significativos que hayan determinado el tipo de contaminación a través del tiempo. Por ejemplo: ¿La contaminación ha sido siempre del mismo tipo? ¿Han existido otras fuentes contaminantes, ahora clausuradas o abatidas? ¿El sitio ha tenido siempre el mismo uso de suelo? ¿Dónde almacenaban los residuos décadas atrás? ¿Han existido fugas del contaminante?

2.3. Historia de actividades humanas relacionadas con el área contaminada .. Deberán registrarse todos los acontecimientos que determinen el tipo de exposición humana a los contaminantes del sitio. Por ejemplo : ¿Existían áreas de recreación en las zonas contaminadas? ¿Había campos agrícolas en las áreas ahora urbanizadas?

2.4. Acciones realizadas para remediar el problema de contaminación .. En algunos sitios podrían haberse llevado a cabo acciones de restauración parcial o total que fueren importantes para definir el actual riesgo del sitio. Por ejemplo, pavimentación de zonas sobre suelo contaminado, confinamiento de tambos con material peligroso, etc. Las acciones de restauración deben tomarse en cuenta ya que pudieron haberse dado en situaciones de emergencia y por lo tanto, podrían no ser las más adecuadas. En uno de los anteriores ejemplos, el almacenamiento de los tambos en las celdas podría haberse dado en condiciones no controladas ó pudiera ocurrir que las celdas estuviesen construídas con material permeable que en el futuro facilitara la lixiviación de los residuos.

3. INFORMACION DEMOGRAFICA

La información de esta sección debe obtenerse a partir de los datos censales. Sin embargo, siempre que sea posible, durante la visita al sitio habrá que verificar la información obtenida.

Dos son los objetivos de la información demográfica: (1) definir la magnitud de la población mayormente expuesta; y (2) establecer con detalle la distribución por edades, sexo y grupos étnicos. Un buen inicio es la obtención de información sobre guarderías, jardines de niños, escuelas primarias, hospitales, asilos, principal actividad ocupacional en la zona, etc.

Del censo deberá obtenerse la siguiente información :

Grupos	de	Edad.
Nivel		Socioeconómico.
Tipos de Vivienda (incluyendo origen y tipo del material de construcción).		
Nivel		Académico.
Acceso a drenaje y a agua potable.		

Esta información deberá ser obtenida para los siguientes tipos de poblaciones: Población o Comunidad más cercana gradiente abajo y gradiente arriba del sitio. Poblaciones o Comunidades a radios de distancia de uno y tres kilómetros.

4. INFORMACION GEOGRAFICA

Para esta sección es de suma utilidad la información que pueda obtenerse de las Instituciones Oficiales (por ejemplo, en México sería el caso del Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática).

4.1. Terreno .. Deberá recopilarse información topográfica del sitio e información relevante para el transporte y destino de los contaminantes. Por ejemplo: presencia de fracturas geológicas que pudiesen conectar a la superficie con cuerpos de agua profunda; cavernas o deformaciones del terreno donde pudiese haber almacenamiento clandestino de residuos peligrosos o basura municipal; características del terreno que posibilitaran la generación de corrientes de agua en épocas de lluvia, etc.

4.2. Suelo .. Este punto deberá centrar la información en el tipo de suelo y en datos sobre la cubierta vegetal. Atención con la historia sobre aplicación de plaguicidas.

4.3. Agua Superficial .. Se requiere su clasificación (arroyo intermitente, río, lago, etc.). Información sobre sus usos (consumo humano, agrícola, abrevadero, pesca, recreación, lavado de ropa, etc.). Datos sobre descargas industriales, agrícolas, urbanas, etc. Antecedentes sobre inundaciones en los últimos años. En caso de que las inundaciones sean frecuentes: ¿El sedimento ha contaminado el suelo?

4.4. Agua Subterránea .. Clasificación (acuífero no confinado, semiconfinado ó confinado). Dirección de la corriente subterránea. Antigüedad, localización, profundidad y usos de los pozos ubicados en la región. ¿Puede contaminarse el acuífero por el material presente en la

superficie? ¿Existen datos de sobreexplotación del acuífero? ¿El acuífero superficial podría estar en contacto con el acuífero profundo a través de los pozos? En caso de que no hubiere antecedentes en la zona del sitio, habrá que examinar la información oficial que hubiere sobre la región. La dirección de la corriente subterránea puede estimarse con base al nivel del agua en los pozos profundos del área.

4.5. Recursos Naturales (Flora, Fauna, etc) .. ¿Puede existir contaminación de la flora y fauna? ¿Pueden llegar los contaminantes a la cadena alimenticia del hombre? ¿El material contaminado es fuente alimenticia de la comunidad? ¿El material contaminado se emplea como cocción para las actividades del hogar (cocción de alimentos, baño diario, etc.)?

4.6. Datos Meteorológicos Relevantes .. Promedio anual de precipitación pluvial. Época de lluvia máxima y época de estiaje (secas). Temperatura promedio anual. Época de frío y época de calor. Dirección de vientos predominantes (rosa de vientos). Cambios de vientos según las épocas del año. Otros datos relevantes del sitio.

5. DATOS MICROBIOLÓGICOS

Esta sección se incluye por separado dada la relevancia que tiene para el impacto en salud. En muchos sitios, la contaminación microbiológica podría estar generando más enfermedades que la contaminación química. Por lo tanto, si se realiza un estudio y no se considera el problema microbiológico, podría ocurrir que la población perdiese el interés por cooperar. Además, existe la posibilidad de que los individuos con padecimientos microbianos sean más susceptibles a los contaminantes químicos.

El evaluador deberá establecer un panorama preciso sobre las condiciones imperantes en el sitio, que pudieran posibilitar las infecciones microbiológicas en la población. Para ello, habrá que obtener información sobre los siguientes puntos:

Higiene general.	Acceso a Drenaje.
Fecalismo al aire libre.	Acceso a agua potable.
¿Hierven el agua?	Manejo de la basura.
Hacinamiento familiar.	Accesibilidad a servicios médicos adecuados.
Estado de la nutrición y nivel educativo.	
Presencia de cuerpos de agua contaminados con descargas urbanas.	
Riego de campos agrícolas con aguas residuales.	
Presencia de vectores (por ejemplo en zonas propensas al paludismo).	
Quejas de la población (verificadas mediante entrevistas con personal médico local).	

6. VISITA AL SITIO

Además de corroborar y/ó 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 del sitio en estudio y determinar de una manera preliminar, las rutas de exposición de mayor importancia para dicho sitio.

6.1. Preocupaciones de la comunidad .. 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. Se recomienda la recopilación de la información publicada en los medios locales de comunicación (editando el amarillismo y las noticias sin sustento). Asimismo, deben efectuarse entrevistas con miembros de la comunidad, autoridades locales y personal médico de la región (poner atención en las clínicas rurales de salud). Si el evaluador realizó una buena labor en este punto, al final deberá contar con un listado de las preocupaciones de la comunidad en lo referente a los riesgos en salud asociados al sitio contaminado y con una visión clara del sentir comunitario sobre como debe manejarse la problemática del área en estudio.

6.2. Análisis preliminar de las rutas de exposición .. Más adelante, en este mismo capítulo, se definen con precisión los componentes de una ruta de exposición. El evaluador deberá comprender a la perfección el significado de cada uno de estos componentes, a fin de poder establecer durante la visita al sitio, el número de rutas de exposición posibles. Tendrá que verificar las fuentes contaminantes (dentro y fuera del sitio), los medios ambientales que pudieran estar contaminados (durante la visita podría apreciar derrames, olores, etc.), los puntos de exposición de mayor riesgo (áreas recreacionales en centros escolares, pozos, etc.), las vías de exposición más probables y la población de alto riesgo. 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 salud.

II. CONTAMINACION AMBIENTAL

En la etapa de la EVALUACION DE LA EXPOSICION, se estudiarán todos los contaminantes en todas las posibles rutas, hayan sido registradas éstas dentro del sitio o fuera de él.

1. MUESTREO

Es de suma importancia que el muestreo se realice bajo normas de calidad, por consiguiente, se invita al lector a consultar manuales profesionales de muestreo, como los de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), o por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.

El muestreo deberá ser completo (todos los medios del ambiente) y representativo (número de muestras estadísticamente suficientes para evaluar de manera adecuada cada medio analizado). Todo contaminante detectado dentro del sitio deberá ser buscado fuera del sitio. Todo contaminante ubicado dentro de algún medio ambiental, deberá ser buscado en otros medios ambientales siempre y cuando sus características fisicoquímicas así lo indiquen. Es muy importante que los primeros puntos a muestrear sean los que

representen mayores riesgos de salud. Estos lugares son los puntos de exposición donde los contaminantes entran en contacto con la comunidad afectada.

Para cuerpos de agua superficial se requiere el análisis gradiente arriba de la supuesta fuente contaminante, y el análisis gradiente abajo de todos los puntos de exposición posibles (especial atención con los puntos donde el agua se utiliza para consumo humano, recreación, limpieza de ropa, etc.). Los análisis más importantes son los que se realizan en muestras sin filtrar. Aunado a lo anterior, es importante que la colecta de muestras considere los periodos estacionales, esto es, épocas de lluvias y de secas. Es muy importante contar con información sobre pH. Siempre que se analice un cuerpo de agua superficial, habrá que obtener información de los sedimentos. Estos serán muestras simples y superficiales (0-5 cm), gradiente arriba y gradiente abajo, en los puntos de exposición humana. Dos interrogantes deben hacerse cuando exista contaminación de agua superficial: ¿Los individuos se alimentan de fauna acuática en este sitio? ¿El contaminante se bioconcentra y/o biomagnifica?

Los acuíferos son uno de los medios que más se contaminan en los sitios peligrosos; por lo tanto, deberán ser monitoreados no solo a través de los pozos construídos por el hombre, sino también colectando muestras de manantiales, ojos de agua, etc. Dada la naturaleza heterogénea de los acuíferos, éstos deberán ser analizados cuando menos tres veces durante un año. Es muy importante hacer la referencia de que los niveles de metales de acuíferos podrán ser comparados contra valores de referencia (por ejemplo, los de la EPA), solo en caso de que las muestras no sean filtradas. Los muestreos de acuíferos deben ser completados con algunos análisis de muestras de grifos caseros, ya que la concentración del contaminante en éstos, puede variar con respecto al valor encontrado en el pozo o en el manantial.

Para aire deben considerarse los compuestos orgánicos volátiles, los gases y las partículas suspendidas. Los puntos de muestreo deben tomar en cuenta las actividades industriales dentro y fuera del sitio, así como las condiciones meteorológicas prevalentes. Es factible que pueda requerirse del modelaje a fin de identificar los puntos mas probables de contaminación (siempre deberán tomarse muestras de aire ambiental). Las muestras de aire se colectarán bajo un esquema de 24 horas en un calendario que considere todas las condiciones meteorológicas a lo largo de un año. Cada muestreo debe considerar el registro de las actividades en el sitio y de la información meteorológica al momento de la colecta. Las muestras deben tomarse a la altura de la zona respiratoria, esto es, 1.2-1.5 metros sobre la superficie. En el caso de la contaminación por orgánicos volátiles podría ser importante la toma de muestras del gas en el subsuelo. En el caso de sitios muy contaminados podría ser necesaria la toma de muestras al interior de las residencias.

Teniendo como objetivo la evaluación de la exposición (sobre todo en población infantil), las muestras de suelo deberán ser simples y superficiales (0-5 cm), colectadas en áreas contaminadas y en áreas "libres" de contaminantes. Para el muestreo en áreas urbanas es muy importante notar si no ha existido remoción o intercambio de suelo como resultado de obras de urbanización. La colecta contemplará la época fría en sitios que con frecuencia son afectados por la nieve, y la época de lluvias en sitios normalmente impactados por inundaciones o por corrientes superficiales. Se pudieran colectar muestras de suelo a

mayor profundidad para definir el nivel de contaminación, debe recordarse que el suelo puede ser fuente de contaminantes para los acuíferos.

Las muestras de polvo residencial se coleccionarán en aquellos sitios peligrosos que tienen las condiciones para que los contaminantes se transporten del exterior al interior de las residencias. Este es el caso, por ejemplo, de un sitio metalúrgico donde el suelo contaminado con metales pueda transportarse a través del viento. Antes de proceder a la colecta de polvo residencial deberá generarse un mapa de la residencia donde se apuntará con precisión los puntos más frecuentados por la población infantil.

En cuanto a alimentos se analizarán muestras de los alimentos de origen vegetal y animal producidos en la zona y de aquellos acostumbrados por la población aunque vengan de zonas alejadas al sitio. Es importante incluir además de las fuentes agrícolas, a los alimentos generados por la pesca y la caza. Especial atención deberá tenerse con la leche, ya que esta fuente puede contener altas concentraciones de algunos contaminantes. Cuando exista contaminación en los sedimentos, deberá tenerse cuidado en muestrear peces que entran en contacto con este medio y no peces cuyos alimentos se obtengan de la columna de agua. Cuando se maneja material biológico deberá considerarse que para el análisis de algunos contaminantes se requiere de tejido fresco. Asimismo, en cuanto a alimentos se refiere, es muy importante establecer un muestreo representativo, por ejemplo, ATSDR recomienda 20 muestras por especie por evento de contaminación.

En todos los medios estudiados, siempre habrá que coleccionar muestras basales que indiquen los niveles de sustancias naturales del sitio (por ejemplo: metales en zonas mineras). El evaluador deberá establecer durante la visita al sitio, los puntos mas apropiados para dicho muestreo. En cualquier caso, los valores basales no deben superar el valor de referencia que se utilice para la selección de los contaminantes críticos (ver adelante).

2. ANALISIS DE LABORATORIO

Para la Evaluación de la Exposición se requiere del análisis cuantitativo de los contaminantes, para lo cual deberán utilizarse los métodos de laboratorio mas adecuados y los procedimientos de control de calidad mas estrictos. En todos los sitios se encontrarán alguno (s) de los los tres mas importantes tipos de contaminación: por compuestos inorgánicos, por compuestos orgánicos y por contaminantes biológicos (microorganismos). Estos últimos se tratan en una sección aparte.

Con referencia a los compuestos inorgánicos, los métodos más populares utilizan la espectrofotometría de absorción atómica y la espectrometría de emisión de plasma. Aunque la voltametría es ampliamente empleada en algunos países. En cuanto a los compuestos orgánicos, los métodos cromatográficos dependerán del tipo de compuesto, esto es, volátiles, semivolátiles y/ó compuestos polares.

Independientemente del equipo, debe quedar claro que el método a utilizar debe tener un límite de detección adecuado al medio ambiental que se esté analizando. Por ejemplo, la detección de metales en suelos contaminados por lo general se realiza por

espectrofotometría de absorción atómica bajo el método de flama, pero este método no es el adecuado para muchas muestras de agua, en cuyo caso se utiliza el horno de grafito o el generador de hidruros según el metal a cuantificar. Para compuestos orgánicos ocurre lo mismo, los semivolátiles podrán cuantificarse por cromatografía de gases-masas, pero los volátiles requieren accesorios especiales como lo pueden ser el equipo de purga y trampa o el equipo de "headspace". Se enfatiza la necesidad de contar con equipo adecuado, porque muchas veces los laboratorios desarrollan métodos para las condiciones de sus laboratorios y no realizan el esfuerzo de contar con buenas condiciones para satisfacer los métodos ya valorados en la literatura científica. Una buena evaluación del riesgo se sustenta en una buena generación de datos.

3. CONTROL DE CALIDAD

Además de contar con el equipo idóneo, el laboratorio debe contar con buenas prácticas. De nada sirve un equipo de alta calidad sin laboratoristas idem. Tanto la colecta como la preparación de las muestras para su análisis requieren igual atención como el análisis mismo.

Para la colecta de la muestra se recomienda seguir los métodos ya descritos : por ejemplo, (1) el utilizar frascos de vidrio para compuestos orgánicos y frascos de plástico para inorgánicos; lavando previamente ambos tipos de frascos, inclusive con ácidos para el caso de metales; (2) acidular las muestras para orgánicos y acidificar las muestras para inorgánicos; (3) decidir si se van a tomar muestras filtradas o no; (4) adicionar blancos de campo a fin de controlar el porcentaje de recuperación tomando en cuenta la pérdida de contaminante durante el transporte de la muestra al laboratorio; (5) en caso necesario, utilizar refrigerantes para el transporte de muestra; etc. Dentro de esta misma serie de publicaciones, en breve aparecerá publicado un manual de muestreo.

En lo referente a las prácticas de control de calidad altamente recomendables para el laboratorio, se pueden apuntar dos: el control de calidad externo y el uso de matrices certificadas. Con respecto al control de calidad externo, la mejor práctica es que al establecer un método, el laboratorio que lo establezca busque certificar su recuperación y reproducibilidad ante otro laboratorio que tenga experiencia en dicho método. Por su parte, las matrices certificadas, tienen la cualidad de que sirven para la vigilancia del trabajo diario. Cada determinado número de muestras problemas, puede analizarse una muestra certificada que haya sido tratada de manera idéntica al problema, y así se vigila día a día, la calidad del método analítico. Las matrices certificadas pueden ser adquiridas de fuentes comerciales en los Estados Unidos, Japón ó Europa. En el caso de que no exista matriz certificada para determinado contaminante; entre varios laboratorios pueden generar su propia matriz.

La información a obtener, o la información que se analice a partir de otras fuentes informativas, deberá contener al menos los siguientes puntos:

- * fecha de muestreo;
- * diseño y representatividad del muestreo;
- * localización de los puntos de muestreo;

- * contaminante;
- * medio del ambiente analizado;
- * valores promedio (media y mediana, con desviación o error estándares)
- * concentraciones mínimas y máximas;
- * método de laboratorio utilizado; y,
- * programa de control de calidad empleado en el estudio (con énfasis en el porcentaje de recuperación para el contaminante en la matriz analizada).

III. SELECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS

Al igual que en la fase de INSPECCION, el primer fundamento para calificar a los contaminantes como contaminantes críticos, es la comparación de su concentración ambiental, contra el valor estimado de la Guía de Evaluación para Medios Ambientales (EMEG) para un medio específico. El cálculo de la EMEG se explica a detalle en el Capítulo 2 de este manual. Otros criterios que pueden seguirse para la selección de contaminantes críticos se explican en la siguiente tabla.

FUNDAMENTOS PARA DEFINIR A LOS CONTAMINANTE CRITICOS

1.

Que su concentración en alguno de los medios del ambiente supere a la EMEG, a la concentración basal, o a algún otro valor de referencia empleado; o,

2. que se encuentre en más de un medio ambiental; o,
3. que sea capaz de interaccionar toxicológicamente con otro contaminante del sitio (incrementando su toxicidad); o,
4. que no se cuente con información científica suficiente para caracterizar su toxicidad;
5. que genere preocupación social.

Ahora bien, como se muestra en el cuadro anterior, aunque no se supere a la EMEG (o al valor de referencia utilizado), existen otros cuatro criterios que podrían tomarse en cuenta para calificar a los contaminantes como críticos.

2. Presencia en más de un medio .. Aunque el contaminante no supere a su respectiva EMEG, sería considerado como crítico si se detectara en más de un medio. Este criterio se fundamenta ante la posibilidad de que la dosis total de exposición, resultante de la sumatoria de la exposición a los diversos medios, pudiera representar un riesgo en salud.

3. Interacción toxicológica con otros contaminantes .. En algunos casos, la presencia de un contaminante puede afectar la toxicidad de un segundo contaminante. Los casos descritos

en la literatura son escasos pero existen, por lo tanto, el evaluador deberá estar actualizado en cuanto a la información toxicológica para definir si su contaminante presenta estas características, en cuyo caso servirá para considerarlo como crítico.

4. Carencia de información toxicológica sobre el contaminante .. En la actualidad no existe información toxicológica suficiente para el 80 % de las sustancias químicas comunes al hombre. Por consiguiente, en algún sitio peligroso podría darse el caso de que los análisis detectaran sustancias con información toxicológica insuficiente. En estos casos, las sustancias deberán considerarse como de máximo riesgo, ante la posibilidad de que pudieran ser tóxicas para el hombre y por lo tanto, se les calificará como críticas para el sitio.

5. Que genere preocupación social .. Si el contaminante está originando temor entre la población afectada por el sitio peligroso, deberá ser calificado como crítico, aunque no reúna el resto de los criterios para calificarlo como tal.

SOLO LOS CONTAMINANTES CRITICOS SERAN CONSIDERADOS PARA EL ANALISIS DE LAS RUTAS DE EXPOSICION Y PARA LA ESTIMACION DEL RIESGO

IV. ANALISIS DE LAS RUTAS DE EXPOSICION

El concepto de ruta de exposición se refiere al camino que sigue el contaminante desde su fuente hasta la población. Toda ruta se constituye entonces de cinco componentes:

1. FUENTE DE CONTAMINACION .. fuente que emite contaminantes al ambiente.
2. MEDIO AMBIENTAL .. aire, agua, suelo, polvo, alimento, etc., medio responsable de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición.
3. PUNTO DE EXPOSICION .. lugar donde la población entra en contacto con los contaminantes (pozos profundos, área de recreación infantil, grifos caseros, etc.).
4. VIA DE EXPOSICION .. inhalación (aire, partículas finas), ingesta (agua, suelo, alimento, polvo), absorción dérmica, etc.
5. POBLACION RECEPTORA .. personas que están expuestas a los contaminantes, la población receptora es entonces la población expuesta.

La identificación de las rutas de exposición es un punto medular del método ya que, la ruta es el camino que utiliza el contaminante para llegar al hombre; por consiguiente, cualquier programa de restauración deberá centrarse en el abatimiento de las rutas más importantes. Identificando a los componentes de las rutas de exposición, pueden diseñarse barreras que impidan la exposición humana a los contaminantes críticos.

El evaluador deberá identificar a las rutas por un nombre que claramente las distinga. En algunos casos, el nombre puede ser el medio del ambiente involucrado en la ruta, pero esto no es siempre aconsejable, ya que como se verá en el siguiente párrafo, dos rutas podrían compartir el mismo medio (por ejemplo: suelo superficial en una ruta dentro de un centro escolar y suelo superficial en una ruta en un patio casero).

Dos ó más rutas pueden compartir elementos. Por ejemplo, es común que diferentes rutas compartan la misma fuente de contaminación. Pero de mayor importancia son las rutas que comparten idéntica población receptora. Un individuo podría estar expuesto a un mismo contaminante a través de diversas rutas. En este caso, la dosis total de exposición sería la sumatoria de la exposición a todas las rutas y dicha sumatoria podría llegar a superar el nivel tóxico del contaminante, lo cual entonces representaría un riesgo en salud para dicho individuo.

Aunado a lo anterior, debe considerarse la posibilidad de que en algunos casos los elementos de una ruta pudiesen no estar bien definidos. Cuando a una ruta le falte alguno de sus elementos se le denominará ruta potencial y quedará a criterio del evaluador si debe considerarse como una ruta importante. Por ejemplo, el suelo contaminado en una zona sin población expuesta al momento del estudio es una ruta potencial. La importancia de su identificación es que esta zona contaminada no debiera tener vocación residencial (hecho que en un ejercicio real debería mencionarse en la sección de recomendaciones).

Una vez seleccionados los contaminantes críticos en cada uno de los medios ambientales, el evaluador deberá señalar todas la rutas de exposición completas o potenciales con importancia, que pudieran existir en el sitio o fuera de él. La importancia de las rutas estará determinada por los siguientes tres puntos :

1. Número de gente afectada por la ruta y características demográfica por sexo y edad.
2. Cantidad de contaminantes críticos identificados en la ruta.
3. Rutas que compartan la misma población receptora.

Para facilitar la fase de evaluación de rutas de exposición, el evaluador puede utilizar los siguientes dos formatos :

FORMATO 1 (ejemplo).

NOMBRE DE LA RUTA	FUENTE	MEDIO DEL AMBIENTE	PUNTO DE EXPOSICION	POBLACION RECEPTORA	PASADA, PRESENTE o FUTURA	COMPLETA O POTENCIAL
TAMBOS	basurero	suelo	el basurero	niños	presente	completa
AIRE	basurero	aire	comunidad	todos los miembros	presente	completa

FORMATO 2 (ejemplo).

NOMBRE DE LA RUTA	CONTAMINANTES CRITICOS	NUMERO NIÑOS EXPUESTOS	NUMERO JOVENES EXPUESTOS	NUMERO MUJERES EN EDAD FERTIL	NUMERO ADULTOS EXPUESTOS	NUMERO ANCIANOS EXPUESTOS

TAMBOS	ARSENICO BENCENO	100	---	---	---	---
AIRE	BENCENO HEXANO	1200	600	535	1790	329

V. ESTIMACION DEL RIESGO EN SALUD

Al igual que en la etapa de INSPECCION, en la EVALUACION DE LA EXPOSICION se hará uso de cálculos matemáticos para estimar la exposición; solo que a diferencia de aquella, en esta fase la estimación se realizará para cada una de las rutas identificadas. Al final se suman las dosis de exposición de cada ruta para obtener la dosis total de exposición, que será la dosis a utilizar en la caracterización del riesgo. Se invita al lector a repasar los fundamentos de la estimación de la exposición que se presentan en el Capítulo 2. A continuación, se expondrán solamente algunos detalles complementarios.

1. IDENTIFICACION DEL CONTAMINANTE

En la etapa de INSPECCION se requiere la contestación de algunas interrogantes. Ahora, en la etapa de EVALUACION DE LA EXPOSICION las respuestas a tales cuestionamientos servirían como un resumen, dado que la información a presentar sería una recopilación de la expuesta en la sección correspondiente al Análisis de las Rutas de Exposición.

2. ANALISIS DOSIS-RESPUESTA

El evaluador deberá obtener información de la RfD a partir del banco de datos IRIS, y podría también obtener información del MRL a partir del banco de datos de la ATSDR. La información numérica generalmente se acompaña de los estudios que originaron la dosis de referencia o la dosis de riesgo mínimo. Es decir, junto al valor de la dosis se puede obtener información sobre el efecto seleccionado para su cálculo. Una vez con estos datos, el evaluador deberá hacer esfuerzos para obtener la NOAEL (dosis a la cual no se ha observado efecto adverso alguno para el padecimiento seleccionado) y la LOAEL (mínima dosis a la cual ya se observó algún efecto). Las tres dosis (RfD, NOAEL y LOAEL) deben ser para la misma vía (oral, dérmica o inhalatoria) y para el mismo efecto o padecimiento. Aunado a lo anterior, es importante recuperar la información sobre la NOAEL y/o la LOAEL de otros padecimientos. Debe recordarse que en esta etapa, la caracterización del riesgo tomará en cuenta la dosis total de exposición y no solamente la dosis oral o la dosis inhalatoria.

3. ESTIMACION DE LA EXPOSICION

Como el título lo indica, en esta sección se busca conocer de forma aproximada la dosis de contaminante que está siendo absorbida por el individuo expuesto. La estimación se

obtiene a través de fórmulas que se explican con detalle en el capítulo 2. Para estimar la exposición en la etapa de la Evaluación de la Exposición se siguen algunas reglas simples:

1. Tomar en cuenta solo a los contaminantes críticos.
2. Considerar todas las rutas de exposición.
3. Obtener la dosis de exposición para cada ruta, tanto para infante como para adulto, utilizando los valores promedio y la máxima concentración encontrada para cada contaminante (seguir las indicaciones descritas en el Capítulo 2).
4. Calcular la dosis total de exposición promedio y la dosis total de exposición máxima sumando las dosis estimadas para cada ruta.

4. CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Para la Evaluación de la Exposición se asume el máximo riesgo posible. Esto implicaría que los contaminantes una vez absorbidos, tengan la misma toxicidad independientemente de la vía de exposición. Es decir, la caracterización del riesgo se estima con base en la dosis total y no con la dosis específica de vía. Por ejemplo, si el dato de RfD que se obtenga de la literatura es para exposición oral, se comparará esta RfD contra la dosis total de exposición, aunque esta dosis incluya la exposición por vía inhalatoria. La única excepción será cuando solo se cuente con RfD inhalatorio y que el padecimiento registrado sea en el tracto respiratorio (en este caso se supone una acción directa del contaminante con el tejido respiratorio, hecho que podría no ocurrir fácilmente vía exposición oral).

De antemano se sabe que la estrategia planteada en el párrafo anterior podría ocasionar una sobreestimación del riesgo para algunos padecimientos que son específicos de vía; sin embargo, como la información toxicológica es tan pobre para la gran mayoría de los contaminantes, ante la incertidumbre se ha preferido la probabilidad de sobreestimar el riesgo para asegurar una protección de la comunidad expuesta. La caracterización de riesgo se calcula para efectos cancerígenos y para efectos no cancerígenos. Tomando en cuenta tanto la dosis total promedio, como la máxima dosis.

Caracterización del Riesgo Cancerígeno :

Se invita al lector a revisar el procedimiento descrito en el Capítulo 2.

En esta etapa solo se utilizará el Factor Potencial de Cáncer (CPF) y se reitera la importancia de que el cálculo emplee solo las dosis estimadas para la población adulta. Un punto por demás relevante es tomar en consideración la fracción de tiempo durante el cual estuvo expuesta la población al cancerígeno.

Ejemplo.

1. Dosis total de exposición estimada para una población adulta = 3×10^{-3} mg/kg/día
2. Factor Potencia de Cáncer = 2 mg/kg/día⁻¹
3. Tiempo durante el cual estuvo la población expuesta al cancerígeno = 2 años

4. Cálculo del riesgo = $(3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg/día}) (2 \text{ mg/kg/día}^{-1}) (2/70) = 1.7 \times 10^{-4}$

Note que en este ejemplo el factor de exposición 2/70 se toma en cuenta porque la exposición se registró solo durante dos años en toda la vida (recuerde que para efectos crónicos se consideran 70 años).

Caracterización del Riesgo NO Cancerígeno

Se invita al lector a revisar el procedimiento descrito en el Capítulo 2. En este caso, se caracterizará el riesgo tanto para la población infantil como para la población adulta. Teniendo cuidado que los padecimientos pudieran no ser los mismos (por ejemplo, en cuanto a la exposición al plomo, el efecto de este tóxico sobre el sistema nervioso es diferente en niños y adultos).

La caracterización del riesgo no cancerígeno contempla información en tres puntos:

1. Severidad del Efecto en Salud .. Para este punto se destacará el padecimiento considerado por el evaluador como el de mayor importancia. Para ello, se comparará la dosis total de exposición contra las NOAEL o LOAEL de este padecimiento.
2. Relación Dosis Estimada / RfD (ó MRL) .. Como dosis estimada se utilizará la dosis total de exposición.
3. Población expuesta.

VI. MONITOREO BIOLÓGICO (Biomarcadores de Exposición)

La exposición puede estimarse y puede evaluarse. La ESTIMACIÓN se fundamenta en la obtención de datos ambientales que se utilizan para alimentar fórmulas matemáticas con el fin de calcular una dosis aproximada de exposición. Este camino asume un comportamiento estandarizado para toda la población y las incertidumbres en cuanto a toxicidad, biodisponibilidad y otros factores, se resuelven asumiendo máximo riesgo.

Por el contrario, la evaluación de la exposición implica la cuantificación de biomarcadores químicos con el objeto de certificar la absorción de los contaminantes en la población expuesta. Un biomarcador por lo general es el propio contaminante o alguno de sus metabolitos, capaz de 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 de nuestro estudio.

Para definir cual biomarcador debe ser analizado entre la población expuesta en un sitio peligroso, debe anticiparse que por lo general estos sitios se encuentran contaminados por una mezcla de sustancias químicas. Esto es, ante la imposibilidad técnica y económica de evaluar la exposición para todas las sustancias presentes en un sitio, debe generarse un sistema que permita la categorización de las sustancias contaminantes de tal forma que se evalúe la exposición solo para aquellas que representen mayor riesgo.

A continuación se propone un esquema basado en cuatro parámetros:

1. Que sea un contaminante crítico.
2. Magnitud del riesgo cancerígeno; o, en caso de que los contaminantes no sean cancerígenos : Relación : Dosis Total de Exposición / RfD (ó MRL)
3. Número de personas afectadas por el contaminante.
4. Preocupación social por el contaminante.

Con estos criterios el evaluador podrá categorizar a sus contaminantes críticos y tendrá fundamentos para seleccionar a los de mayor riesgo. Una vez que los contaminantes críticos de mayor riesgo hubieren sido seleccionados, debe revisarse la literatura científica para definir a los biomarcadores más adecuados para su estudio. Para este fin, los Perfiles Toxicológicos de la ATSDR resultan por demás adecuados. Otra fuente relevante de datos es la información distribuída por la Organización Mundial de la Salud. Independientemente de la fuente, debe quedar claro que antes de iniciar los estudios, el evaluador deberá tener la seguridad de que el biomarcador a usar será el adecuado.

El análisis de biomarcadores en el laboratorio debe seguir la rigurosidad de calidad exigida a las muestras ambientales. Aun más, ante la alta probabilidad de no poder contar con matrices certificadas para muchos biomarcadores; la certificación de la calidad del análisis a través del control externo es de sumo aconsejable.

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.

Un punto que no puede escapar a la preparación de un estudio con biomarcadores es el tipo de población que será sujeta al estudio. ¿Cuántas muestras? ¿Cuáles son las condiciones de inclusión o exclusión que regulan la selección de individuos para un estudio? ¿Cuáles serán los criterios de representatividad? La contestación de estas y otras

preguntas deberán basarse en un análisis estadístico previo que permita el diseño epidemiológico del estudio.

Al respecto del diseño epidemiológico, debido al tiempo tan limitado para obtener información, deberá escogerse un diseño de corta duración. Entre los estudios descriptivos destaca el de prevalencia de exposición (proporción de personas expuestas que poseen un biomarcador alterado en relación al total de individuos estudiados). Sin embargo puede optarse por métodos de estudio que involucren a una población control; de ser este el caso, los métodos mas populares serían: los transversales (comparación de un grupo control con grupos expuestos a diferentes dosis del contaminante) y los casos y controles (comparación de exposición pasada entre dos grupos; los criterios para definir a un caso y a un control dependerá del contaminante que se desee examinar y el efecto que se busque analizar).

En cuanto al tamaño de la población a estudiar, el número de individuos dependerá de dos factores: de los recursos económicos y del tamaño total de la población afectada. Si ésta es pequeña y además se cuenta con buen apoyo económico, podría darse el caso de poder estudiar a toda la población. Pero si la población es grande y los recursos limitados, habrá que seleccionar una muestra representativa. Para la selección ya existen métodos estadísticos computarizados que facilitan el cálculo del tamaño de muestra. Dependiendo de las características del estudio, existen varias técnicas para asegurar que el muestreo sea representativo, entre ellas: la selección aleatoria simple, la estratificada, la sistemática, por conglomerados, etc.

En el reporte final, los datos sobre biomarcadores deben presentarse como una prueba de la exposición a los contaminantes. Por consiguiente, el evaluador buscará obtener una correlación entre ellos y el nivel de contaminación en el sitio, tomando en cuenta la antigüedad de la contaminación, el tiempo de residencia de los individuos en el sitio, su tiempo de exposición al sitio peligroso, frecuencia y duración de la exposición, hábitos alimenticios (en el caso de que la ruta de exposición incluya alimentos), etc. Toda esta información y más, deberá ser recolectada a través de un cuestionario diseñado de manera específica para la comunidad a estudiar (edad, sexo, ocupación, tipo de vivienda, antecedentes de exposición, etc.).

Otro cuestionario que es muy importante incluir es el de posibles efectos adversos a la salud. A través de un interrogatorio sobre síntomas referidos en la bibliografía, se podrían obtener datos muy importantes sobre las condiciones generales de salud de los individuos expuestos. Asimismo, de contarse con el apoyo económico suficiente, podrían realizarse un examen clínico y pruebas elementales de laboratorio (examen general de orina y de sangre, niveles de enzimas hepáticas, etc.).

Aunado a lo anterior, deberán realizarse todos los esfuerzos para entrevistar a los profesionistas de la salud (médicos, enfermeras, etc.) mas relacionados con el sitio. A través de éste ejercicio, el evaluador deberá recabar información precisa sobre los principales padecimientos de la zona (ver sección IX). Entre las preguntas que se le harían al profesionista en salud estarían: tiempo de residencia en el sitio del médico o enfermera, nivel educacional, problemas de salud más frecuentes en el sitio, principales quejas en

relación a problemas de salud, principales áreas de recreación utilizadas en el área por niños y adultos, conocimiento de algún individuo que hubiere tenido algún problema de salud relacionado con la exposición a alguno de los contaminantes críticos del sitio, conducta de los entrevistados o de la comunidad frente a los problemas de contaminación.

VII. MONITOREO BIOLOGICO (Biomarcadores Nutricionales)

El estado nutricional se encuentra muy relacionado con la capacidad de resistencia a los contaminantes ambientales. Por ejemplo, los nutrientes son esenciales para la síntesis de moléculas reductoras de radicales libres, como el glutatión y la metalotioneína; además, se ha descrito que algunos iones, como el calcio y el hierro, son capaces de disminuir la absorción de contaminantes como el plomo, el cadmio y el manganeso. Un individuo con deficiencia nutricional es más susceptible a los efectos tóxicos de los químicos contaminantes.

En los países en vías de desarrollo, la pobreza origina desnutrición. Por desgracia, en estas naciones la pobreza también va ligada a los malos hábitos de higiene, a la falta de agua potable, a una limitada atención médica y/o a la construcción de viviendas en vecindad con sitios peligrosos. La relación pobreza-contaminación es una realidad que debe ser atendida de manera integral. Si bien la solución del factor pobreza requiere más de una política económica que de una metodología de riesgo en salud; los estudios de salud ambiental en este tipo de situaciones no pueden dejar de lado la atención a la desnutrición.

Ahora bien, la evaluación nutricional es en extremo compleja dada la gran cantidad de nutrientes susceptibles a ser estudiados y por la amplia variabilidad individual. No obstante, para simpleza de los estudios se han seleccionado dos indicadores: el peso corporal y los niveles sanguíneos de hierro (incluyendo la capacidad de fijación). Habrá investigadores que consideren más adecuado el análisis de otros indicadores (por ejemplo, vitaminas). Esto es positivo siempre y cuando dichos indicadores reflejen el estado nutricional de los individuos.

En nuestra experiencia, el peso corporal y las determinaciones de hierro han resultado positivas en niños expuestos a metales. Habrá que estudiar estos factores en otras comunidades y en ambientes contaminados por otras sustancias. La evaluación de los biomarcadores nutricionales debe efectuarse de manera simultánea al estudio de los biomarcadores de exposición. Esto es, ambos tipos de biomarcadores deben analizarse en los mismos individuos y de ser posible, en la misma época.

En el reporte final se buscará establecer el nivel nutricional de la comunidad expuesta y se tratará de correlacionar la exposición con el nivel de nutrición. Aquellos individuos desnutridos que además hubieren registrado resultados positivos en cuanto a los biomarcadores de exposición, deberán ser considerados sujetos de alto riesgo. Para ellos habrá que instrumentar programas de vigilancia epidemiológica.

VIII. EVALUACION MICROBIOLOGICA TOTAL

En los países en vías de desarrollo, la contaminación de origen biológico es tan o más importante que la contaminación de origen químico. Por consiguiente, si se plantea una metodología que tenga como objetivo establecer los fundamentos para una completa restauración ambiental, deberán considerarse ambos tipos de contaminación.

La evaluación microbiológica total se plantea en tres fases:

- (1) el análisis de la contaminación en los medios ambientales;
- (2) el análisis de biomarcadores de exposición; y,
- (3) la evaluación de la información médica en la zona de estudio.

La contaminación microbiológica se revisará siempre en la fuente de agua potable y de manera secundaria, se evaluarán aquellos medios ambientales que por los antecedentes o las condiciones particulares de cada sitio pudieran estar contaminados (por ejemplo, suelo, alimentos, etc.). Se analizará cuando menos la presencia de organismos bacterianos de origen fecal; pero de ser posible, se revisará la presencia de otros elementos microbianos como parásitos y virus.

Por biomarcadores de exposición microbiana se refiere cuando menos a un estudio coproparasitoscópico. Sin embargo, podrían ser de utilidad otras pruebas clínicas microbiológicas. Las condiciones particulares de cada sitio indicarán cuales pruebas pudieran ser de utilidad. Estos análisis se efectuarán en la población que haya sido seleccionada para el monitoreo biológico. Aunque siempre existirá la posibilidad de utilizar a un grupo diferente (por ejemplo niños, cuando el monitoreo biológico se realice en adultos).

La evaluación de la información médica se efectuará sobre los datos que pudieren ser recopilados en los servicios médicos de la localidad. Dadas las condiciones sanitarias de nuestros países, las estadísticas sobre procesos infecciosos abundan, aún en las clínicas rurales más humildes. Habrá que establecer un instrumento para interrogar sobre infecciones gastrointestinales, pulmonares, etc.

En el reporte final, el evaluador deberá generar un escenario de la situación microbiológica, integrando las tres fuentes de información de esta sección y la información que pudiere recopilarse durante la visita al sitio (condiciones socioeconómicas, disposición de la basura, acceso a agua potable y drenaje, condiciones de vivienda, etc.).

IX. ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS DE SALUD

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:

1. Justificaciones para el Análisis .. Las consecuencias en salud son biológicamente plausibles por los antecedentes toxicológicos del contaminante encontrado en el sitio, la comunidad solicitó la evaluación, etc.

2. 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.). En todos los casos 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.

3. Características de la Población Control .. La información que llegara a colectarse, deberá ser comparada con la registrada para una población control. Esta población control deberá reunir características similares a la población expuesta (por ejemplo, deberán aparearse por edad, raza, sexo, hábitos, nivel socioeconómico, exposición a otras sustancias -plaguicidas, tabaco, alcohol, etc.-).

4. 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.

X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

La primera conclusión será una declaración sobre el nivel de riesgo encontrado en la zona de estudio. Para lo cual el investigador asignará a la zona una de las siguientes cuatro categorías:

- * riesgo de salud pública urgente, requiere acción correctiva inmediata
- * riesgo de salud pública, requiere acción correctiva mediata
- * riesgo de salud pública no definido, requiere vigilancia ambiental y epidemiológica
- * riesgo de salud pública mínimo.

Para las primeras dos categorías, el investigador tendrá que identificar en el texto: el o los contaminantes críticos, las rutas de exposición completas prioritarias de ser atendidas, los efectos en salud y la población expuesta. Deberá resumirse el motivo por el cual estas categorías fueron seleccionadas. En esta sección no se discute nueva información.

El texto también resumirá conclusiones sobre cada fase del proceso con énfasis en los siguientes puntos:

- * posibles efectos en salud por la exposición a los contaminantes identificados,
- * respuestas a las preocupaciones comunitarias en materia de salud,
- * resultados de la evaluación a las estadísticas de salud, y
- * los efectos que sobre el análisis o sobre las conclusiones del estudio podría tener la falta o la insuficiente información.

Cada conclusión del estudio deberá tener una recomendación asociada a ella.

2. Recomendaciones

El investigador hará recomendaciones para:

- * finalizar o reducir la exposición (incluyendo la posible restauración ambiental),
- * caracterizar la zona de estudio, ó
- * sugerir actividades para dar seguimiento a los problemas de salud identificados.

Todas las recomendaciones deberán ser numeradas y tendrán que ser iniciadas con un verbo de acción (inmediatamente, a mediano plazo, etc.). Cada recomendación tiene que estar correlacionada con una de las conclusiones de la sección anterior.

Las recomendaciones hechas debido a que fueron identificados efectos en salud, deberán ser seguidas de la propuesta de acciones que lleven a prevenir o a reducir la exposición.

Las recomendaciones específicas deben ser eliminadas; en su lugar deben darse recomendaciones donde las opciones no sean identificadas; de esta manera no se prejuzgan las medidas a tomar.

Cuando los datos ambientales o de otro tipo sean insuficientes para evaluar los riesgos en salud, deberá recomendarse la obtención de la información faltante. El investigador deberá identificar el tipo de información que sea requerida, donde debe ser obtenida (en caso de que se requieran muestreos, tendrá que establecerse el lugar preciso que deba ser muestreado) y quien tiene que recibir la información que se obtendrá. Cada una de las recomendaciones será temporalizada, cuando se necesite una acción urgente, ésta se estipulará de manera directa (ej. se requiere el suministro inmediato de agua potable de fuentes alternas). Las recomendaciones que no se temporalizan pueden ser consideradas como de baja prioridad.

La recomendación final en todo reporte debe tratar sobre las acciones de seguimientos que se hayan considerado pertinentes en tres áreas: educación ambiental; estudios de salud; e investigación científica dirigida a llenar algún vacío de información descubierto durante la realización del estudio. Asimismo, se analizará la posibilidad de incluir una recomendación para que los individuos sean dirigidos a tratamiento médico o a una vigilancia permanente.

3. Acciones de Salud Publica

Basados en las recomendaciones presentadas en el estudio, el investigador necesita identificar acciones que se estén llevando a cabo o que hayan sido planeadas. Además, para identificar a dichas acciones, el investigador tiene que identificar las agencias (departamentos o direcciones) gubernamentales que sean responsables de ellas. El propósito de esta estrategia es la de organizar la agenda de salud relacionada con la zona de estudio, que se establecerá con el fin de disminuir o de abatir la exposición a las sustancias tóxicas. De las acciones que se estén llevando a cabo o de las que han sido planeadas, el investigador debe anotar la siguiente información: (1) la acción; (2) la agencia o el grupo responsable de dicha acción; (3) el propósito de la acción; y, (4) la fecha en que la acción ha ocurrido u ocurrirá.

4. comunicacion del riesgo

Al final los investigadores deberán asesorarse para determinar la mejor manera de informar los resultados del estudio al público y a las autoridades. Para este fin, deberán analizarse las condiciones propias del sitio y en todos los casos se recomienda buscar el apoyo de expertos en la materia.

Anexo 1. Información requerida para cada sitio peligroso

Ficha No.

Cada sitio llevará un número que facilitará su archivo e identificación en mapas.

1. Nombre del Sitio.

Nombre oficial y nombre común (nombre empleado por la población vecina al sitio).

2. Ubicación Exacta (utilizando el número de ficha para localizar al sitio en el mapa).

Incluir el nombre del Estado, Municipio y la descripción de como llegar al sitio.

3. ¿ Existe Preocupación Social ? Sí _____ No _____ Pasada _____ Potencial _____

En caso de no contarse con información precisa de este punto; durante la inspección del sitio deberá levantarse una encuesta entre los pobladores de la comunidad más cercana a él (el cuestionario se realizará considerando a la población civil pero también a maestros, médicos locales y líderes de la comunidad -comisarios ejidales-, etc.).

4. Fuente Contaminante.

Describir el origen de la contaminación: natural o antropogénica. En caso de que sea una industria deberá incluirse el ramo. Para definir a la fuente, los niveles de los contaminantes deben ir disminuyendo conforme se aleja uno de ella gradiente abajo ó en

la dirección de los vientos y no deben incrementarse gradiente arriba o en contra de la dirección de los vientos.

5. Tipo de Residuos (Metales, Orgánicos, Plaguicidas, Mezclas Complejas).

En caso de carecer de estudios que indiquen el tipo de residuos, habrá que inferirlos según la fuente: es claro el caso de minas (metales), campos agrícolas (plaguicidas) y algunas industrias como las petroleras (compuestos orgánicos). Sin embargo, en el caso de basureros municipales o depósitos clandestinos de residuos peligrosos, habrá que utilizar el concepto de mezclas complejas ya que en él se incluyen a los contaminantes inorgánicos y orgánicos.

6. Clasificación del Sitio (Minería, Industrial, Valle Agrícola, Petrolera, Microempresa, Depósito No Controlado, Otro).

Considerando la fuente contaminante y el tipo de residuo podrá definirse al sitio. En cuanto a depósito no controlado se definirá si es un relleno sanitario o un depósito para residuos industriales y si es de residuos sólidos o líquidos (aguas residuales).

7. ¿Se Cuenta con Evidencia de Contaminación Ambiental Química? Sí ó No. En Caso Afirmativo: ¿Evidencia directa de estudios calificados ó Evidencia indirecta?; en este último caso ¿Cuál?

Estudios calificados serán aquellos que tengan reportado el control de calidad que fue utilizado para la obtención de los datos. En caso contrario, los estudios serán considerados como evidencia indirecta. Otros tipos de evidencia indirecta pueden ser la observación visual de derrames, el olor a solventes, la muerte de animales, el daño a la vegetación, etc. Todo tipo de evidencia deberá ser documentada y en el caso de las evidencias indirectas tendrán que ser confirmadas durante la inspección del sitio. Debe recordarse que habrá que ser cuidadoso con la información anecdótica.

8. ¿Se Cuenta con Evidencia de Vulnerabilidad Social?

Para el manejo de este concepto, deben tomarse en consideración todos aquellos factores que impidieran atender de manera adecuada, un escenario de exposición humana a los contaminantes ambientales (escasez de personal médico, nivel cultural bajo, pobreza, falta de agua potable, etc.). Asimismo, deberán considerarse aquellos factores que pudieran incrementar la toxicidad de los contaminantes (desnutrición, presencia endémica de otras enfermedades, etc.). El evaluador deberá comentar en su reporte, los factores encontrados.

9. Medio Ambiental Impactado.

Suelo, Aire, Agua Superficial (lago, laguna, río, arroyo intermitente, presa, etc.), Agua Subterránea (acuífero superficial o acuífero profundo), Alimento, Otro (s). El medio ambiental impactado por la contaminación deberá ser confirmado durante la fase de inspección. Es muy importante que en caso de falta de evidencia sólida, este punto sea contestado por personal con experiencia en el área ambiental. Al llenar este punto acepte

una ligera posibilidad de error. Recuerde que por definición, la incertidumbre de esta primera fase de la metodología de evaluación de riesgos, es grande. Pero precisamente por ello, ningún sitio será eliminado sin antes inspeccionarlo (segunda fase de la metodología).

10. *¿Existe Evidencia de Exposición Humana a los Contaminantes? Sí ó No. En Caso Afirmativo: ¿Evidencia directa de estudios calificados ó Evidencia indirecta?; en este último caso ¿Cuál?*

Evidencia directa será definida solo con estudios efectuados por laboratorios que hayan demostrado control de calidad en su trabajo y que hayan empleado biomarcadores específicos para los contaminantes encontrados en el sitio. Evidencia indirecta podría ser una alta incidencia de algún padecimiento como: cáncer, abortos, malformaciones congénitas, etc. Habrá que ser muy cuidadosos en la definición ya que en muchas ocasiones los padecimientos son multifactoriales: por ejemplo, cierto tipo de malformaciones pueden deberse a la contaminación pero también a otros factores como la desnutrición y la consanguinidad.

11. *Población Mas Cercana.*

Se considerará solo a aquella más cercana al sitio, pero siempre hay que incluir de ser necesario, información sobre otras poblaciones, que en algunos sitios también pudieran ser susceptibles al riesgo ambiental (por ejemplo, cuando existe contaminación en un acuífero que abastece a varios poblados). Deberá incluirse información sobre nombre, distancia al sitio, número de habitantes y principal actividad económica. Probablemente toda esta información pueda ser obtenida a partir de bancos de información estadística, pero en la fase de tendrán que confirmarse los datos, sobre todo tratándose de poblaciones pequeñas y rurales.

12. *Anexar Mapa de la Entidad Federativa.*

En este mapa se identificará claramente el sitio y las poblaciones más cercanas a él.

13. *¿Se Adjuntan Documentos?*

Cuando se cuente con estudios donde se analice la contaminación química ó microbiológica y/ó estudios de exposición humana, habrá que incluirlos como anexo del reporte de inspección. Es importante adicionar todos los estudios (incluyendo aquellos que carezcan de control de calidad).

14. *Fuente de Información.*

Todas las fuentes deberán ser evaluadas como confiables, dudosas ó ignorables (por ejemplo fuentes anecdóticas no confirmadas durante la inspección al sitio).

FICHA No. _____

1. Nombre del Sitio. _____

2. Ubicación Exacta. _____

Municipio. _____ (utilizar el número de ficha para localizar al sitio en el mapa)

3. ¿ Existe Preocupación Social ? Sí _____ No _____ Pasada _____ Potencial _____

4. Fuente Contaminante. _____

5. Tipo de Residuos. Metales _____ Orgánicos _____ Plaguicidas _____

Mezclas Complejas _____

6. Clasificación del Sitio. * Minería _____ *. Industrial _____ (Giro) _____

* Zona Agrícola _____ * Petrolera _____ *. Microempresa _____ (Giro) _____

* Manejo de Residuos _____ (Tipo) _____ *. Otros _____ (Tipo) _____

7. ¿ Se Cuenta con Evidencia de Contaminación Ambiental Química? Sí _____ No _____

Evidencia directa de estudios calificados _____ Evidencia indirecta _____ ¿Cuál?

Observación visual _____ otros _____ ¿Cuáles?

8. ¿ Se Cuenta con Evidencia de Vulnerabilidad Social ?

Sí _____ No _____

9. Medio Ambiental Impactado : Suelo _____ Aire _____ Agua Superficial _____

(tipo de agua superficial) _____ Agua Subterránea _____

Alimento _____ Otro (s) _____

10. ¿ Existe Evidencia de Exposición Humana a los Contaminantes ? Sí _____ No _____

Evidencia directa de estudios calificados _____ Evidencia indirecta _____ (explicar cual) _____

11. Población Mas Cercana : Nombre _____

Distancia al Sitio _____

Número Aproximado de Habitantes _____

Principal Actividad Económica

12. Anexar mapa de la Entidad Federativa.

13. ¿ Se Adjuntan Documentos ? Sí _____ No _____

14. Fuente de Información

Calificación de la Fuente Confiable _____ Dudosa _____ Ignorable _____

CALIFICACION PARA LA PRIORIZACION DE VISITA AL SITIO _____

Llenó	el	cuestionario	(nombre)
Dependencia	_____	Télefono	_____ Fax
Dirección	_____		E- mail

PRIORIZACION PRELIMINAR DE SITIOS POTENCIALMENTE CONTAMINADOS CON RESIDUOS PELIGROSOS

El objetivo de esta fase de priorización preliminar es el de ordenar los sitios listados, a fin de proceder a inspeccionar primero a aquellos que probablemente tengan el mayor riesgo. Esta fase de priorización no pretende eliminar sitios, solo los ordenará para organizar su estudio posterior. Por lo tanto, el formato se fundamenta en apreciaciones cualitativas y cuantitativas. No pueden utilizarse solo los datos cuantitativos, porque muchos sitios no los tendrían y por ende, se estaría dando preferencia a los sitios estudiados sobre los no estudiados. Cuando éstos pudiesen ser más riesgosos que aquellos.

1. ¿Existe un medio ambiental para el transporte del contaminante?

Suelo 2 puntos Aire 3 puntos
Alimento Local * 2 puntos Agua Subterránea 4 puntos

Agua Superficial 2 puntos Otro ** _____ puntos
(a juicio del investigador)

* producto de consumo humano
** pintura, polvo doméstico, etc. Total de Puntos _____

El primer punto que se toma en cuenta es el número de medios ambientales afectados. Siempre será de mayor riesgo un sitio entre más sean sus medios contaminados, ya que en estos casos, la exposición de la población se da simultáneamente por diferentes rutas. El valor más alto se le da al acuífero (agua subterránea), por dos razones: un acuífero contaminado afecta a un gran número de personas y además, es muy difícil de restaurar. Por la misma razón de tener la capacidad de afectar a numerosos individuos, el impacto en aire le sigue en valor al acuífero. Se deja un espacio en blanco para que el investigador lo utilice a su criterio. Por ejemplo, en zonas metalúrgicas puede considerarse la contaminación en interiores residenciales (polvo doméstico). Para la calificación se suma el puntaje de cada uno de los medios afectados. Una zona metalúrgica que hubiere contaminado suelo, aire y agua subterránea, tendría un puntaje por este concepto de nueve puntos (dos de suelo, más tres de aire, más cuatro de agua subterránea).

2. ¿ Existe probabilidad de exposición humana a los contaminantes ?

Sí, en el sitio 3 puntos No 0 puntos
Sí, lejana al sitio 6 puntos

El siguiente parámetro que se considera es el de la exposición humana. Con toda probabilidad, la gran mayoría de los sitios listados carecerán de información objetiva al respecto. Por ello, solo deberán anotarse respuestas categóricas; y en el caso de la afirmación, habrá que definir si la exposición es en el sitio o lejos de él. La exposición se asume afirmativa cuando hay contaminación evidente y existe población en el área contaminada. En el caso de que exista contaminación tanto en el sitio como lejana a él, solo se tomará el puntaje correspondiente a seis puntos.

3. ¿ Existe población potencialmente bajo riesgo ?

distancia al sitio (dentro de un radio) tamaño de la población

0 - 1500 m	3 puntos	> 100 mil personas	4 puntos
1501 - 3000 m	2 puntos	> 10 mil - 100 mil	3 puntos
> 3000 m	1 punto	> mil - 10 mil	2 puntos
		□ mil	1 punto

Es claro que el riesgo de un sitio es directamente proporcional al tamaño de la población que afecta. Dos sitios con los mismos niveles ambientales del mismo contaminante se

distinguirán si uno de ellos afecta a una comunidad grande y el otro a una pequeña. La probabilidad de encontrar efectos adversos entre la población expuesta será mayor en la comunidad grande. Por lo tanto, se otorga más peso al mayor tamaño de la población y más peso también a la distancia, bajo el argumento que entre más cerca esté una comunidad de un sitio contaminado, mayor será la posibilidad de una exposición. Además, en muchos casos la concentración ambiental del contaminante va en relación inversa a la distancia al sitio (conforme se aleja uno del sitio, entran en juego fenómenos de amortiguamiento ambiental). En este apartado deberá multiplicarse el valor de la distancia por el valor del tamaño de la población afectada. Por ejemplo, una comunidad de 90 mil personas ubicada a dos kilómetros del sitio tendría un puntaje de 6 puntos (dos por ubicarse entre 1501 y 3000 m y tres por tener una población entre 10 y 100 mil personas; dos por tres darían seis puntos totales por este concepto).

4. ¿ Se cuenta con evidencia de vulnerabilidad social ?

Sí	3 puntos	No	0 puntos
----	----------	----	----------

En este apartado deberá definirse si existe vulnerabilidad social de acuerdo a como este concepto se maneje en cada país (por ejemplo, existiría vulnerabilidad social en una comunidad con insuficiente atención médica, cuyas viviendas tuviesen piso de tierra, sin acceso a agua potable, sin acceso a drenaje, con desempleo importante, localizada en áreas endémicas de enfermedades transmisibles, sin centros de educación elemental, etc.).

5. ¿ Existe preocupación social ?

Sí	3 puntos
No	0 puntos

En la mayoría de las ocasiones la preocupación social está basada en datos informales, carentes de rigor científico. No obstante, independientemente de su origen, el malestar de la sociedad civil debe ser atendido y como tal, se considera como uno de los factores para la priorización preliminar.

6. Criterios de desempate.

Cuando se realiza la priorización de una lista con numerosos sitios, es común encontrar sitios que tienen un mismo total de puntos. Para dichos casos se requieren de criterios de desempate. Estos criterios deberán ser definidos por el grupo que haya originado el listado. Sin embargo, a continuación se exponen los que fueron empleados para el caso de San Luis Potosí, que es el ejemplo que se presentó en el capítulo uno de este manual.

El primer criterio fue el factor obtenido del producto de la calificación del punto dos (probabilidad de exposición humana a los contaminantes) por la calificación del punto tres (poblaciones cercanas).

El segundo criterio fue la calificación del punto tres.

El tercer criterio fue la calificación del punto uno (medios ambientales impactados).

Finalmente, hubo casos que requirieron un cuarto criterio, en dichos casos el cuarto criterio fue el tamaño numérico de la población.

Anexo 2. Bases para la calificación de los sitios inspeccionados

I. ANTECEDENTES DEL SITIO ... máximo 17 puntos

1. poblaciones cercanas al sitio (multiplique distancia x tamaño)

distancia al sitio (dentro de un radio) tamaño de la población

0 - 1500 m	3 puntos	> 100 mil personas	4 puntos
1501 - 3000 m	2 puntos	> 10 mil - 100 mil	3 puntos
> 3000 m	1 punto	1 punto > mil - 10 mil	2 puntos
		□ mil	1 puntos

2. ¿ Existe PREOCUPACION Social ?

Sí	.. 2 puntos
No ..	0 puntos

3. TIPOS DE CONTAMINANTES PRESENTES EN EL SITIO (sume el total)

Orgánicos	.. 1 punto
Inorgánicos	.. 1 punto
Microbiológicos ..	1 punto

II. CONTAMINACION AMBIENTAL ... máximo 28 puntos

1. ANALISIS PRELIMINAR DE LA CONTAMINACION

- 1.1. Evidencia de Contaminación Dentro del Sitio. (cinco puntos)
- 1.2. Evidencia de Contaminación Fuera del Sitio. (cinco puntos)
- 1.3. Control de Calidad y Confiabilidad de las Muestras. (cinco puntos)
- 1.4. Presencia de Contaminantes Críticos. (cinco puntos)

2. Toxicidad del Contaminante MAS SIGNIFICATIVO

(El contaminante más significativo se define por ser el contaminante crítico que superó con mayor valor la EMEG respectiva, o por ser el que mas preocupación generó en la comunidad).

Sin Toxicidad Moderada	Toxicidad 0 3 puntos	puntos	Toxicidad Ligera 2 Toxicidad Severa 4 puntos	2 4 puntos	puntos
------------------------	-------------------------	--------	---	---------------	--------

3. Persistencia del Contaminante MAS SIGNIFICATIVO

No Persistente	Persistente 0 3 puntos	puntos	Algo Altamente Persistente 4 puntos	2 4 puntos	puntos
----------------	---------------------------	--------	-------------------------------------	---------------	--------

(En el caso de que no exista información sobre toxicidad y/o persistencia del contaminante mas crítico, se asumirá toxicidad severa y alta persistencia)

III. ANALISIS DE RUTAS DE EXPOSICION ... máximo 15 puntos

Para esta sección se considerará la información directa obtenida mediante el análisis ambiental en los puntos de exposición y la estimación teórica que se realice tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes críticos y los factores específicos del sitio que pudieren influir en el destino y transporte de los contaminantes.

1. Medio Ambiental Impactado (sume el total)

Suelo	2	puntos	Aire	3	puntos
Alimento	2	puntos	Agua Subterránea	4	puntos
Agua Superficial	2 puntos		Otro _____	2 puntos	

Los parámetros fisicoquímicos que a continuación se listan, se tomarán en cuenta para suponer la presencia del contaminante significativo en más de un medio:

Solubilidad en Agua, Coeficiente de Partición Octanol/Agua, Constante de la Ley de Henry, Coeficiente de Partición de Carbono Orgánico, Factor de Bioconcentración (FBC) y Velocidad de Transformación y de Degradación.

Las características del sitio que a continuación se listan, se tomarán en cuenta para suponer la presencia del contaminante significativo en más de un medio:

Indice de Precipitación Anual, Condiciones de Temperatura, Cubierta del Suelo, Características Geomorfológicas, Características Hidrogeológicas, Flora y Fauna, Canales de Aguas Superficiales, Características del Suelo, Obras Públicas y Velocidad y Dirección de los Vientos.

IV. CARACTERIZACION PRELIMINAR DEL RIESGO ... máximo 40 puntos

Se considerara solamente al contaminante mas significativo (multiplicar el puntaje de la caracterizacion del riesgo por el de severidad del efecto)

1. Caracterización del Riesgo Cancerígeno

INCIDENCIA DE CANCER (riesgo individual x población)

>1000	10	puntos 100	-1000 9	puntos
10 -100	8 puntos	<10	7 puntos	

2. Caracterización del Riesgo NO Cancerígeno

RELACIÓN DE RIESGO (dosis estimada / rfd ó mrl)

>1000	10	puntos 100	-1000 9	puntos
10 -100	8 puntos	<10	7 puntos	

3. Severidad del Efecto en Salud

catastrófica	3	puntos
seria	2	puntos
adversa	1 punto	

- En caso de que la sustancia sea cancerígena se multiplicará su incidencia por tres puntos, que en el concepto de severidad, es el valor de una enfermedad catastrófica.
- En caso de que se caracterice el riesgo no cancerígeno, se multiplicará su relación dosis / RfD por la severidad del padecimiento que haya sido seleccionado para su caracterización (que debe ser para la cual fue calculada la RfD).

4. FACTORES ASOCIADOS AL RIESGO (nivel de marginación económica)

Alta	Marginación 10	puntos
Marginación Media	5 puntos	

V. CALIFICACION DE LOS SITIOS INSPECCIONADOS

(75 - 100 puntos)

URGENCIA AMBIENTAL Y DE SALUD PUBLICA

El sitio requiere reSTAURACION inmediata,
en conjunto con una evaluación DE LA EXPOSICION.

(40 - 74 puntos)

RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD PUBLICA

El sitio requiere la Evaluación de la Exposición.
los resultados de dicho análisis determinarán
la temporalidad de su restauración.

(0 - 39 puntos)

MINIMO RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD PUBLICA

El sitio no requiere un análisis más profundo.
se instrumentará un programa de vigilancia ambiental
para evitar un riesgo futuro.

Anexo 3. Inspección de sitios peligrosos. Zona minera de Villa de la Paz - Matehuala

Jesús Mejía, Leticia Carrizales y Fernando Díaz-Barriga

1. VISITA AL SITIO

1.1. Descripción del Sitio

El sitio se ubica en México en el Estado de San Luis Potosí y en los municipios de Villa de la Paz y Matehuala. En Matehuala el sitio afecta a la ciudad del mismo nombre que se ubica a una distancia 10.0 km gradiente abajo de las minas de Villa de la Paz. El sitio es una típica área minera. El material proveniente del subsuelo es llevado a una planta de beneficio que se localiza en el centro de un pequeño poblado denominado Villad de la Paz (3000 habitantes), hacia la periferia de la mina se ubica la presa de "jales", donde los residuos se han ido acumulando al paso del tiempo, llegando a formar una "montaña" de material fino. Frente a esta "montaña" o depósito de residuos, se construyó una nueva zona residencial denominada Colonia Real de Minas (500 habitantes). En época de lluvia la presa ha sufrido derrames ocasionales y partículas del residuo minero son transportadas por escurrimientos superficiales hasta un arroyo intermitente (Arroyo de La Paz), el cual a su vez transporta el residuo minero más de 15 km gradiente abajo, hasta que se introduce al subsuelo a través de fracturas geológicas. En época de estiaje, el sedimento seco del arroyo y el material de la "montaña", son transportados como polvo hasta zonas agrícolas y áreas residenciales vecinas, respectivamente. Por el Arroyo de La Paz y por los vientos, material de los residuos ha llegado a la Ciudad de Matehuala (80,000 habitantes). Por otra parte, no existen barreras adecuadas que impidan el paso de niños a la zona de almacenamiento de los residuos mineros. En la zona de mayor riesgo la gente reporta molestia por el polvo proveniente de la mina. En el ejido "La Carbonera", donde el material arrastrado por el Arroyo de La Paz contaminó tierras de cultivo, las quejas escuchadas fueron en el sentido de la productividad de la tierra, no se recibieron quejas referentes a riesgos en salud.

1.2. Tipos de Contaminantes

De acuerdo a la monografía minera del Estado, publicada por el Consejo de Recursos Minerales, en la zona existen cinco minas principales las cuales producen plata, oro, plomo, cobre y zinc. No encontramos evidencia de contaminantes orgánicos (por ejemplo, plaguicidas). A través de entrevistas con personal médico local y mediante la inspección directa del sitio (alto nivel de marginación), se logró el registro de contaminación microbiológica.

1.3. Puntos de Exposición

- *Depósito de Residuos*

.. La "montaña" que se ha formado con los residuos mineros, ha sido atractiva para la población infantil. En el pasado era más frecuente que los niños jugaran en ella.

- *Suelo ..*

Tanto en Villa de la Paz como en la Colonia Real de Minas, el suelo pudiera estar contaminado por las actividades mineras. En la primera por las operaciones de la planta de beneficio y en la segunda por el depósito de residuos mineros. Las calles están pavimentadas, sin embargo, el pavimento es malo y en muchos puntos puede entrarse en contacto directo con el suelo. Tanto en Villa de la Paz como en la Colonia se detectaron numerosos puntos de recreación infantil ya que los niños juegan al aire libre. Varios de estos puntos de recreación carecen de cubierta vegetal.

- *Polvo Residencial*

.. En Villa de la Paz y en la Colonia Real de Minas, la mayoría de las viviendas cuentan con techo de losa de concreto y piso de cemento. Sin embargo, como el sitio se ubica en una zona semiárida, no es raro que los vientos transporten material hacia el interior del hogar. Aunado a ello, en la Colonia Real de Minas descubrimos que los residuos mineros fueron utilizados para la construcción de algunas viviendas. Por todo lo anterior, debe considerarse la ingesta de polvo en interiores por parte de infantes y la posible inhalación de polvo contaminado tanto en exteriores como en interiores por parte de toda la población.

- *Arroyo de La Paz*

.. Este arroyo intermitente representa una doble fuente de contaminación. En época de lluvia acarrea material desde el depósito de residuos mineros a lo largo de 15 km gradiente abajo. Cuando la lluvia es fuerte, la corriente del arroyo llega a inundar los terrenos aledaños, contaminándolos con un sedimento blanco. En época de estiaje, el arroyo se seca y el sedimento formado por el material acarreado pasa a ser fuente de polvo contaminado. Observamos niños jugar en zonas impactadas por el arroyo.

- *Acuífero*

.. En el área de influencia del sitio se ubica un acuífero que es la única fuente de abastecimiento de agua potable para la Ciudad de Matehuala, para Villa de la Paz y para la comunidad de Cedral. Por consiguiente, recordando que las aguas del Arroyo de La Paz se introducen al subsuelo a través de fracturas geológicas, se vuelve imperativo vigilar la calidad de este cuerpo de agua.

- *Estanque del Poblado "Cerrito Blanco"*

.. A la altura de la Ciudad de Matehuala, se forma un acueducto subterráneo superficial que lleva agua hasta un estanque de almacenamiento ubicado en el poblado de "Cerrito Blanco". En dicho poblado los lugareños nos indicaron que el agua estaba "envenenada" y que no la utilizaban para consumo humano. Sin embargo, se emplea para el regadío de cultivos y en época de calor no es raro observar que los niños nadan en el estanque.

2. CONTAMINACION AMBIENTAL

2.1. Muestreo Ambiental

El muestreo consideró el procedimiento del Manual de Muestreo Ambiental, publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)¹. A continuación se expone el diseño seguido en cada uno de los puntos de exposición.

- *Depósito de Residuos*

.. Debido a que se tuvo un acceso limitado al depósito, solamente se tomó una única muestra del residuo.

- *Suelo ..*

En la Colonia Real de Minas se tomaron tres muestras de suelo superficial y en el resto de los sitios se colectó solamente una.

- *Arroyo de La Paz*

.. Al momento del muestreo el arroyo no llevaba agua por lo cual solamente se colectaron muestras de sedimento.

- *Acuífero*

.. Se tomaron muestras de los dos pozos más próximos al Arroyo de la Paz y de uno más localizado a 20 km gradiente abajo de Matehuala (este pozo presumiblemente se ubica en un acuífero diferente).

- *Estanque del Poblado "Cerrito Blanco"*

.. En esta comunidad se colectaron muestras del agua potable y del agua del estanque.

Las muestras de suelo se colectaron y transportaron en bolsas plásticas estériles. En el laboratorio se procedió a su secado y de inmediato fueron digeridas para su análisis. Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos lavados con ácido nítrico al 10.0 %. Después de la colecta, las muestras fueron acidificadas con nítrico concentrando y se transportaron bajo refrigeración. En el laboratorio se mantuvieron a 4°C hasta su análisis.

2.2. Análisis Ambiental

- *Método*

.. Los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico y con horno de grafito o flama para plomo, cobre y manganeso. Las muestras de agua fueron digeridas con una mezcla de nítrico-perclórico (3.0 : 0.5). Las muestras de suelo fueron digeridas con horno de microondas utilizando nítrico al 25.0 %.

- *Control de Calidad*

.. Se efectuaron análisis de estándares certificados. Para suelo se utilizó el estandar NIST-SRM 2710 (Montana soil) obteniéndose una recuperación superior al 90 % para todos los metales. Para agua se utilizó un estandar de la EPA con una recuperación para arsénico, cadmio y plomo superior al 95 %.

2.3. Resultados

- *Residuos Mineros*

.. En la Tabla 1 se presenta el resultado del análisis efectuado a la muestra de residuo minero. Se advierte que los tres metales tóxicos más abundantes fueron el arsénico, el plomo y el manganeso. El cobre, si bien se encontró a niveles altos, representa un menor riesgo debido a que su toxicidad es inferior a la de los tres metales anteriormente citados. Es de esperarse que el residuo contenga otros metales como zinc, cadmio, níquel y cromo. De hecho, en una muestra a 50 m del depósito, encontramos trazas de estos tres últimos metales. Para tener una idea del alto contenido de arsénico y plomo en el residuo, se comparó esta matriz con los niveles en un suelo basal. La comparación indicó que el residuo tiene 214 veces más arsénico y 230 veces más plomo que el valor basal. Ahora bien, debido a que los metales podrían variar de manera importante en los diferentes puntos del depósito, una muestra es insuficiente para definir la distribución estadística de los metales en todo él. No obstante ello, los datos de la Tabla 1 indican riesgo.

Tabla 1. Cuantificación de Metales en el Residuo Minero (mg/kg).

ARSENICO	9 6 4 7
----------	---------

MANGANESO	1 6 5 0
COBRE	1 1 8 0
PLOMO	6 9 0

- *Suelo*

.. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos en muestras de suelo. Comparando los datos con los niveles basales se advierte que todos los puntos presentan evidencia de impacto ambiental. Los valores de plomo no muestran gran dispersión entre sí, pero los niveles de arsénico en el sedimento y en La Carbonera fueron los de mayor valor. Esto puede deberse a que la presencia del metaloide en estos puntos se da por el lavado del terreno en épocas de lluvias, en tanto el principal mecanismo de contaminación en la Colonia Real de Minas es el acarreo de partículas por la acción del viento.

Tabla 2. Concentración de arsénico y plomo en suelo (mg/kg)

PUNTO	ARSENICO	PLOMO
COLONIA 1	2157	470
COLONIA 2	1235	334
COLONIA 3	437	252
SEDIMENTO	7102	464
la Carbonera	4087	691
Basales	45	3

Se tomaron tres muestras de la Colonia Real de Minas, una muestra del sedimento del Arroyo La Paz a 10 km gradiente abajo del depósito de residuos mineros y otra muestra en el ejido La Carbonera, a 12 km gradiente abajo del depósito.

- *Agua*

.. El agua subterránea del municipio de Matehuala a 10 km del depósito, fue investigada en tres pozos (Tabla 3). Los pozos de La Florida y del Hotel se abastecerían de un acuífero diferente al que abastece al pozo de Los Angeles. Por su parte, el agua del estanque de Cerrito Blanco proviene de un acueducto subterráneo que estaría originado por el Arroyo de la Paz. Los pozos de La Florida, del Hotel y el estanque de Cerrito Blanco están contaminados por arsénico. El pozo

de Los Angeles se encuentra dentro de los parámetros de la Organización Mundial de la Salud, de 10 µg/L².

Tabla 3. niveles de arsénico en fuentes de agua (µg/L).

PUNTO	ARSENICO
la Florida	106
hotel	6897
los Angeles	20
poza Cerrito	5432

Los tres primeros puntos son pozos. El punto de la Poza de Cerrito es el estanque de Cerrito Blanco

3. SELECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS

Recordemos que los contaminantes críticos son definidos bajo dos posibles criterios: (1) que la concentración ambiental del contaminante supere a la EMEG; y/o, (2) que el contaminante sea causa de preocupación en la comunidad afectada. En el caso de este sitio, el segundo punto no se aplica, ya que la comunidad no mostró preocupación por alguna sustancia química en particular y/o por la contaminación microbiológica. Por consiguiente, deben calcularse las EMEGs para arsénico correspondientes a agua y suelo. Para el caso de plomo no existe una dosis de referencia, por lo cual no puede calcularse la EMEG; en consecuencia, se usará el valor guía calculado para plomo en suelo que se aplica a zonas recreativas de infantes y que es igual a 250 mg/kg³.

3.1. Arsénico

Se tomará en cuenta a la población infantil por ser la población de mayor riesgo, dados los niveles de contaminación encontrados en este trabajo en los puntos de exposición analizados.

$$EMEG = \frac{RfD \text{ (mg/kg/día)} \times PC \text{ (kg)}}{TI \text{ (kg ó L/día)}}$$

RfD = Se aplica el valor para exposición oral ya que en ambos casos, suelo y agua, la ingesta oral es la vía de exposición. = 3 x 10⁻⁴ mg/kg/día⁴.

PC = Peso corporal de un niño (10 años) = 25 kg.

TI = Tasa de ingestión diaria de agua = 1 litro niño⁵.

Tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg niño⁶. Se aplica este valor extremo, considerando las condiciones de pobre pavimentación, escasa cubierta vegetal en el suelo, carencia de áreas recreativas infantiles fuera de la zona contaminada y hábitos higiénicos deficientes (registro efectuado durante la inspección al sitio).

- *Suelo*

$$\text{EMEG}_{\text{suelo}} = \frac{0.0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{0.00035 \text{ (kg/día)}} = \frac{0.0075 \text{ (mg/día)}}{0.00035 \text{ (kg/día)}} = 21.4 \text{ mg/kg}$$

En suelo todos los puntos que se presentan en la Tabla 2 superaron a la EMEG de 21.4 mg/kg. En tanto los niveles basales se ubicaron en el rango.

- *Agua*

$$\text{EMEG}_{\text{agua}} = \frac{0.0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{1.0 \text{ (L/día)}} = \frac{0.0075 \text{ (mg/día)}}{1.0 \text{ (L/día)}} = 0.0075 \text{ mg/L} = 7.5 \text{ } \mu\text{g/L}$$

Tomando los valores de arsénico en agua expuestos en la Tabla 3, puede concluirse que todos los puntos muestreados se encontraron por arriba de la EMEG de 7.5 µg/L. Sin embargo, el pozo ubicado en el ejido de Los Angeles se encuentra dentro del rango.

Tomando en cuenta que el arsénico supera a la EMEG en agua y suelo, se concluye que debe ser considerado como un contaminante crítico, para el sitio Villa de la Paz - Matehuala

3.2. PLOMO

El siguiente análisis tomará en cuenta a la población infantil por ser la población de mayor riesgo, en lo que se refiere a la toxicidad del plomo por contaminación de suelo. El valor de referencia seleccionado para el análisis fue de 250 mg/kg, que es el valor guía calculado para suelo en zonas recreativas de infantes³. De los datos presentados en la Tabla 2, todos superaron este valor de referencia. Sin embargo, se encontraron en el rango.

Considerando que el plomo supera el valor de referencia en suelo, se concluye que debe ser considerado como un contaminante crítico para el sitio Villa de la Paz - Matehuala

4. ANALISIS PRELIMINAR DE LAS RUTAS DE EXPOSICION

AIRE Considerando el tipo del material que forma el residuo minero, puede asumirse la presencia de partículas pequeñas conteniendo plomo y

arsénico. Estas partículas podrían ser inhaladas por toda la población expuesta, incluida la residente en la Colonia Real de Minas.

- SUELO** Encontramos evidencia de contaminación por arsénico y plomo, alrededor del depósito, en la Colonia Real de Minas y en los terrenos impactados por el Arroyo de La Paz. Esto podría afectar a la población infantil.
- AGUA** Importantes niveles de arsénico se registraron en pozos de la Ciudad de Matehuala y en el estanque de Cerrito Blanco. De ser generalizada la contaminación, toda la población estaría en riesgo.
- POLVO** En la Colonia Real de Minas, vecina al depósito minero, se recibieron quejas de la población por la presencia de grandes cantidades de polvo al interior de las viviendas. El origen del polvo sería el propio depósito. Este hecho y el antecedente de que el residuo fue utilizado en la construcción de las viviendas, hace suponer que los niños podrían estar expuestos a los metales aún al interior de sus hogares.
- SEDIMENTO** Se encontraron altos niveles de metales tanto en la zona cercana al depósito minero como en un punto ubicado 15 km gradiente abajo. Esta ruta afectaría a los campesinos que caminaran sobre el lecho del arroyo y a los niños que jugaran cerca de él.
- ALIMENTO** El área de mayor importancia sería el terreno de Cerrito Blanco que es regado con aguas contaminadas del estanque. No obstante lo anterior, los niveles de arsénico en suelo fueron "normales" (resultados no mostrados).

5. ESTIMACION PRELIMINAR DEL RIESGO

El método para la estimación preliminar del riesgo que exponemos a continuación se basa en la metodología de estimación de riesgo que se expone en el Capítulo 2 de este manual.

5.1. Identificación del Contaminante

En esta sección se resume la información sobre los contaminantes presentes en el sitio.

1.1. ¿Cuál es la ruta de exposición más importante en el sitio ?

Nuestros datos apuntan a la existencia de cuando menos tres rutas actuales y una potencial. Las actuales rutas serían : suelo en la Colonia Real de Minas, polvo en interiores en la misma zona residencial y agua contaminada en el bordo de almacenamiento de Cerrito Blanco. La ruta potencial sería el acuífero de la Ciudad de Matehuala en caso de que éste se explotase para uso humano. De las rutas actuales, creemos que la más importante sería el suelo ya que es un punto de exposición directo con la población infantil.

1.2. ¿Cuáles son los contaminantes críticos que han sido detectados en dicha ruta ?

Arsénico y plomo. Sin embargo, otros metales como el cobre y el manganeso no fueron cuantificados a pesar de haber sido detectados en el residuo minero.

1.3. *¿ Existe la posibilidad de que los contaminantes se transporten de un medio a otro ?*

Sí. El depósito de residuos mineros por viento ó escurrimientos superficiales, ha contaminado el suelo y los acuíferos de la zona. En cuanto a los alimentos de la pequeña área agrícola de Cerrito Blanco habría que realizar más estudios antes de emitir una conclusión definitiva.

1.4. *¿Cuál es la población de alto riesgo ?*

Los niños, ya que los puntos de exposición analizados son puntos que frecuentan ellos.

1.5. *¿ Cómo se da la exposición a los contaminantes (frecuencia, duración, etc.) ?*

Zonas de recreación infantil, en escuelas y en vecindades. Consideramos exposición crónica continua.

1.6. *¿ Cuáles son los efectos tóxicos de los contaminantes críticos ?*

El arsénico y el plomo deben considerarse contaminantes altamente persistentes con toxicidad severa. En las Tablas 4 y 5 se presentan algunos efectos tóxicos de estos metales.

5.2. Análisis Dosis-Respuesta

El arsénico es un químico cancerígeno, sin embargo, para nuestro análisis hemos seleccionado niños como el grupo de alto riesgo. Por lo cual, la discusión será centrada en los efectos no cancerígenos de este contaminante y no se realizará la caracterización del riesgo cancerígeno.

Tabla 4. Dosis-Efecto Para Exposición Infantil al Arsenico.

CLASIFICACION	DOSIS ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	EFFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0.30	lesiones dérmicas	4
LOAEL*	2.60	efectos neurológicos	7

(*) estudio en niños de 25 kg de peso.

Tabla 5. Efectos del Plomo en Niños en Relacion al Nivel de Plomo en Sangre.

Plomo en Sangre (µg / dl)	Efecto
10	* Disminución Auditiva * Disminución de la Estatura * Disminución del Coeficiente Intelectual
15	* Alteraciones en los niveles de Vitamina D ?
20	* Disminución en la conducción nerviosa periférica

Datos obtenidos de CDC, 1991⁸ y ATSDR, 1993⁹.

5.3. Estimación de la Dosis de Exposición

De acuerdo al método de la fase de inspección, solo consideraremos a la ruta de exposición crítica o más importante, que en este caso es el suelo en una área habitada. Por lo tanto la Colonia Real de Minas fue seleccionada para el análisis.

El nivel de arsénico que fue empleado para la estimación de la exposición, fue de 2157 mg/kg que representa el valor máximo del rango en la Colonia Real de Minas. Este valor es el de máximo riesgo. Debe recordarse que el presente es un reporte de inspección preliminar y por consiguiente, hay que actuar conservadoramente, aunque ello implique sobreestimar el riesgo. En cuanto al plomo, no es aplicable el cálculo de la dosis de exposición, debido a que para este metal no existe una dosis de referencia que podamos utilizar para comparación. La caracterización del riesgo de plomo se realiza con los datos de plomo en sangre, tal y como se presenta más adelante.

PARAMETROS PARA LA ESTIMACION DE LA EXPOSICION

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

Dosis es la dosis de exposición que estamos estimando.
Conc. concentración del contaminante en el suelo = 2157 mg/kg
TI tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg niño
PC * peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad).
FE factor de exposición = 11% de biodisponibilidad¹⁰ .

$$= \frac{(2157 \text{ mg/kg}) (350 \text{ mg/día}) (1 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}) (0.11)}{25 \text{ kg}} = 0.0033 \text{ mg/kg/día} = 3.3 \text{ µg/kg/día}$$

5.4. Caracterización del Riesgo No Cancerígeno para Arsénico

Tabla 6. Dosis-Efecto Para Exposición Infantil al Arsénico.

CLASIFICACION	DOSIS (µg/kg/día)	EFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0.30	lesiones dérmicas	4
LOAEL*	2.60	efectos neurológicos	7
VILLA DE LA PAZ	3.30		

1. Severidad del Efecto en Salud = La dosis estimada en Villa de la Paz resultó estar en el rango de la LOAEL para efectos neurológicos, los cuales son considerados serios.
2. Relación Dosis Estimada/RfD = $3.3 / 0.3 = 11.0$
3. Población expuesta = 200 - 500 niños en el área de máximo riesgo.

5.5. Caracterización del Riesgo No Cancerígeno para Plomo

Se tomó el valor más alto de plomo en suelo registrado en la colonia vecina al depósito de residuos mineros. Con este valor se estimó el nivel de plomo en sangre, utilizando el "Modelo Biocinético de Exposición Integral para Plomo en Niños" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA)¹¹, de acuerdo a los parámetros ya establecidos⁶.

Nivel de plomo en suelo = 470 mg/kg

Nivel estimado de plomo en sangre (media geométrica en niños de 3-6 años) = 9.0 µg/dl

Porcentaje estimado de niños con niveles superiores a 10.0 µg/dl = 38.2 %

5.6. Factores Asociados al Riesgo

En cuanto a la Nutrición, se considera que pueden existir deficiencias nutricionales debido a que el nivel socioeconómico de la población en el sitio de estudio es bajo. Por otro lado, un panorama de las enfermedades microbianas en la población infantil fue obtenido mediante entrevistas con personal médico local. La carencia de agua potable en algunas

zonas fomenta las infecciones gastrointestinales. Asimismo, los hábitos de higiene no aparentan ser eficientes. Finalmente, durante la visita al sitio, llamó la atención que en la Colonia Real de Minas se carece de áreas recreativas para la población infantil; por lo tanto, los niños juegan al aire libre, precisamente en las zonas donde fueron detectados los mayores niveles de arsénico en suelo.

5.7. Análisis Final

Los niveles en suelo y la dosis de exposición estimada indican en conjunto, un alto riesgo en salud por la exposición al arsénico. El riesgo mayor sería en niños y el probable efecto sería sobre el sistema nervioso central. Nuestro grupo ha demostrado efectos neuropsicológicos en niños vecinos a una fundición de arsénico⁷. Estos efectos correlacionaron tanto con los niveles urinarios de arsénico como con indicadores socioeconómicos de marginación. El posible daño neurológico también es apoyado por recientes estudios experimentales, en los cuales muestras del residuo minero mismo fueron administradas por vía oral a ratas. Los resultados indicaron daño neurológico, por ejemplo, los niveles de dopamina en el tejido estriado del cerebro se encontraron a menores niveles de lo normal¹².

En cuanto al plomo se concluye que el nivel de 470 mg/kg encontrado como máximo valor en el suelo de la Colonia Real de Minas, no es un nivel muy alto. Esto se deduce a partir de que la mayoría de los niños expuestos a estas concentraciones tendrían concentraciones de plomo en sangre por abajo del valor guía de 10.0 µg/dl. No obstante, debe considerarse que este resultado de plomo en sangre fue estimado suponiendo que la única fuente de exposición al plomo es el suelo; lo cual en la realidad podría ser falso. Otras fuentes de plomo para estos niños serían: la inhalación de polvo minero en exteriores, la ingesta de polvo residencial, la exposición al barro vidriado, etc. Es decir, si bien el nivel de plomo en suelo de 470 mg/kg de manera aislada es bajo, en una exposición integral a varios medios contaminados, podría resultar ser un nivel de mayor relevancia. En otro sentido, y suponiendo que la única fuente de exposición al plomo fuese el suelo, el 38.2 % de niños con posible nivel de plomo en sangre superior a 10.0 µg/dl, merece ser atendido.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. Encontramos evidencia de contaminación en diversos medios del ambiente, por varios metales pesados. Si bien el metal que sirvió como guía para la inspección fue el arsénico; en los residuos mineros también fueron detectados plomo, manganeso y cobre. Asimismo, en las cercanías hemos detectado cadmio, níquel y cromo.
2. El acuífero de Matehuala es una zona de riesgo ya que encontramos dos pozos con altos niveles de arsénico. Dicho resultado adquiere relevancia dado que este acuífero abastece a la comunidad matehualense de agua potable.
3. El Arroyo de La Paz es el medio de transporte para que los contaminantes del depósito minero lleguen a áreas alejadas hasta 20 km gradiente abajo. Por esta vía se ha contaminado el suelo en el ejido La Carbonera y el agua del estanque en el poblado Cerrito Blanco.

4. El sitio de mayor riesgo es la zona residencial ubicada en las cercanías del depósito de residuos mineros. En este sitio, que se denomina Colonia Real de Minas, se registró contaminación por arsénico en el suelo. Los máximos valores se encontraron en las zonas de recreación infantil.
5. Tomando los niveles de arsénico y plomo encontrados en la Colonia Real de Minas, se determinó que el nivel de la contaminación representa un riesgo en salud. La dosis estimada para arsénico se calculó en niveles 11 veces superiores a la dosis de referencia. En tanto, los niveles de plomo en sangre estimados mediante modelaje biocinético, resultaron superiores al valor guía de 10.0 µg/dl para el 38.2 % de los niños. El riesgo de daño neurológico debe ser atendido por las autoridades de salud del área.

6.2. Recomendaciones

1. En el corto plazo debe realizarse un estudio ambiental a mayor detalle. Dicho análisis incluiría el monitoreo completo y representativo de todos los medios del ambiente. Asimismo, consideraría a todos los metales tóxicos que fueron detectados en el residuo minero. Habría que valorar la presencia de mercurio, que es un metal abundante en áreas mineras.
2. De manera urgente se requiere de una evaluación de la exposición al arsénico y al plomo entre los niños que habitan la Colonia Real de Minas. Dicha evaluación debería incluir, de ser factible, un estudio neurológico.
3. Como programas ambientales preventivos inmediatos se hace necesaria la colocación de barreras alrededor del depósito minero y alrededor del agua almacenada en Cerrito Blanco.
4. Deberían iniciarse los estudios de factibilidad para la restauración del sitio. El plan de restauración deberá incluir a la planta de beneficio, al depósito de residuos mineros, a los suelos contaminados, al Arroyo de la Paz y al Estanque en Cerrito Blanco. También debería analizarse la participación del residuo empleado como material de construcción de viviendas.
5. Es importante iniciar un programa educativo entre escolares y padres de familia a fin de dar a conocer la problemática ambiental. Con este programa se invitaría a los participantes a tomar acciones que disminuyeran la exposición a los metales pesados.
6. Aunado a lo anterior, entre el personal médico de Villa de La Paz y de Mathuala se debería impartir un programa de capacitación sobre toxicología de metales. Dicha actividad tendría como objetivo capacitar a médicos y enfermeras en el diagnóstico y tratamiento de los padecimientos relacionados con la exposición a metales.

7. CALIFICACION DEL SITIO

7.1. Antecedentes del Sitio

1. Poblaciones Cercanas al Sitio (multiplique distancia x tamaño) = 6 PUNTOS

Distancia al sitio 0 -1500 m 3 puntos
Tamaño mil -10 mil 2 puntos

2. ¿ Existe Preocupación Social ? = 2 PUNTOS

Sí 2 puntos

3. Tipos de Contaminantes en el Sitio = 2 PUNTOS

Inorgánicos 1 punto
Microbiológicos 1 punto

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 10 PUNTOS

7.2. Contaminación Ambiental

1. ANALISIS PRELIMINAR DE LA CONTAMINACION = 20 PUNTOS

Evidencia Positiva de Contaminación Dentro del Sitio. 5 puntos
Evidencia Positiva de Contaminación Fuera del Sitio. 5 puntos
Buen Control de Calidad y Confiabilidad de las Muestras. 5 puntos
Se Pudo Definir la Presencia de Contaminantes Críticos. 5 puntos

2. TOXICIDAD DEL ARSENICO (contaminante más significativo) = 4 PUNTOS

Toxicidad Severa 4 puntos

3. PERSISTENCIA DEL ARSENICO = 4 PUNTOS

Altamente Persistente 4 puntos

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 28 PUNTOS

7.3 Rutas de Exposición

1. Medio Ambiental Impactado

Suelo (*colonia Real de Minas*) 2 puntos Aire (*polvos del depósito*) 3 puntos
Agua Superficial (*Arroyo La Paz*) 2 puntos Agua Subterránea (*Matehuala*) 4 puntos
Otro : (*polvo residencial*) 2 puntos

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 13 PUNTOS

7.4. Caracterización Preliminar del Riesgo

1. RIESGO NO CANCERIGENO

Cociente Dosis de Exposición / RfD = 10 -100 8 puntos

2. SEVERIDAD DEL EFECTO (Para este caso, lesiones dérmicas o daño neurológico)

Efecto Serio = 2 puntos

(1) Riesgo x (2) Severidad = 8 x 2 = 16 puntos

3. FACTORES ASOCIADOS AL RIESGO

Marginación Media = 5 puntos

TOTAL POR ESTE CONCEPTO = 21 PUNTOS

7.5 Calificación Total del Sitio

Antecedentes del Sitio	= 10	puntos
Contaminación Ambiental	= 28	puntos
Rutas de Exposición	= 13	puntos
Caracterización Preliminar del Riesgo	= 21	puntos

TOTAL DE PUNTOS = 72 puntos

CALIFICACION DEL SITIO
VILLA DE LA PAZ - MATEHUALA
(72 PUNTOS)

RIESGO AMBIENTAL Y DE SALUD PUBLICA

*EL SITIO REQUIERE LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN
LOS RESULTADOS DE DICHO ANÁLISIS DETERMINARAN
LA TEMPORALIDAD DE LA RESTAURACIÓN*

8. BIBLIOGRAFIA

1. ATSDR (1994) Environmental Data Needed for Public Health Assessments. A Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
2. OMS (1995) Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, p. 180.
3. Madhavan S, Rosenman KD y Shehata T (1989) Lead in soil: recommended maximum permissible levels. Env. Res. 49: 136-142.

4. EPA (1992) Second draft for the drinking water criteria document on arsenic. U.S. Environmental Protection Agency.
5. ATSDR (1992) Health Assessment Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health & Human Services.
6. Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997) Evaluación del Riesgo en Sitios Contaminados con Plomo Aplicando un Modelo de Exposición Integral (IEUBK). En : Evaluación de Riesgos para la Salud en la Población Expuesta a Metales en Bolivia (Díaz-Barriga F, ed.) Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OPS/OMS. pp. A-1 a A-17.
7. Calderón J, Navarro ME, Jiménez-Capdeville ME y Díaz-Barriga F (1998) Neurobehavioral effects among children exposed chronically to arsenic, cadmium and lead. 3rd International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects. San Diego, Estados Unidos.
8. CDC (1991) Preventing lead poisoning in young children. Centers for Disease Control US Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
9. ATSDR (1993). Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
10. Freeman GB, Schoof RA, Ruby MV, Davis AO, Dill JA, Liao SC, Lapin CA y Bergstrom PD (1995) Bioavailability of arsenic in soil and house dust impacted by smelter activities following oral administration in Cynomolgus monkeys. Fund. Appl. Toxicol. 28: 215-222.
11. USEPA (1994) Guidance Manual for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children. Technical Review Workgroup for Lead. Office of Emergency and Remedial Response. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N.C.
12. Rodríguez VM, Dufour L, Carrizales L, Díaz-Barriga F y Jimenez-Capdeville ME (1998) Effects of oral exposure to a mining waste on in vivo dopamine release from rat striatum. Environmental Health Perspectives. En prensa.

AGRADECIMIENTO AL CONACYT - SISTEMA MIGUEL HIDALGO (RN 26/ 96)

Anexo 4. Evaluación de la exposición en sitios peligrosos. Zona minera de Villa de la Paz - Matehuala

Jesús Mejía, Leticia Carrizales y Fernando Díaz-Barriga

1. ANTECEDENTES

La sección de evaluación de exposición en sitios peligrosos debería de iniciar con una secuencia detallada de la visita al sitio, que a su vez, debería incluir información completa del lugar. En el presente caso, esta fase no se realizó de acuerdo al manual, por no considerarse necesario tanto detalle. Más importante era realizar el estudio de biomarcadores de exposición para plomo y arsénico.

Asimismo, se completó el análisis ambiental con algunas muestras en suelo y polvo colectadas tanto en la Colonia Real de Minas como en Villa de la Paz (referirse al estudio de la fase de Inspección para identificar la localización de estas dos comunidades). La situación del acuífero se atendió a través de análisis de arsénico en agua efectuado en muestras de agua doméstica (grifo) en la Ciudad de Matehuala.

La fase de Evaluación de la Exposición se realizó entre el segundo semestre de 1997 y el primer semestre de 1998, un año después del trabajo de correspondiente a la fase de Inspección Preliminar.

1.1. Puntos de Exposición

- *Suelo ..*

Tanto en Villa de la Paz como en la Colonia Real de Minas, el suelo pudiera estar contaminado por las actividades mineras. En la primera por las operaciones de la planta de beneficio y en la segunda por el depósito de residuos mineros. En ambas comunidades, los puntos de recreación infantil continúan sin contar con cubierta vegetal alguna y numerosas calles se mantienen con pavimento desgastado. Existen dos centros escolares de educación pre-escolar. Ambos se ubican en puntos de alto riesgo, uno a menos de 100 metros de la planta de beneficio y otro a 300 metros del depósito de residuos mineros.

- *Polvo Residencial*

.. En Villa de la Paz y en la Colonia Real de Minas, la población mantuvo su queja sobre la entrada de polvos mineros al hogar. El último año fue particularmente seco y los polvos acarreados por los vientos causaron mayores malestares. Al descubrirse que los residuos mineros fueron utilizados para la construcción de algunas viviendas, se realizaron estudios con una prueba rápida y en el 100 % de las viviendas estudiadas en la Colonia Real de Minas, se encontraron trazas de plomo en la pared.

- *Acuífero*

.. El acuífero que abastece a las Ciudades de Villa de la Paz, Cedral y Matehuala es el mismo de donde se surten los pozos altamente contaminados con arsénico que encontramos en la fase de Inspección Preliminar. Aparentemente, sin embargo, la zona de pozos, que abastece de agua potable a estas comunidades, se ubicaría gradiente arriba del punto de contaminación. Se mantiene la necesidad de vigilar la calidad de este cuerpo de agua.

2. CONTAMINACION AMBIENTAL

2.1. Muestreo Ambiental

El muestreo consideró el procedimiento del Manual de Muestreo Ambiental, publicado por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR)¹. A continuación se expone el diseño seguido en cada uno de los puntos de exposición.

- *Polvo*

.. En la Colonia Real de Minas se colectaron seis muestras de polvo y en Villa de la Paz doce. El polvo se tomó del interior de las viviendas. Para ello, se utilizó una brocha con la que se "limpiaron" pisos, paredes, ventanas y juguetes de los niños. Se obtuvo una muestra combinada de cada vivienda visitada.

- *Suelo ..*

En la Colonia Real de Minas se tomaron tres muestras de suelo superficial y en Villa de la Paz se colectaron nueve. Se trabajó con suelo superficial tomado de las áreas de mayor riesgo para la población infantil (áreas de recreación).

- *Acuífero*

.. Se colectaron muestras de agua a partir de grifos domiciliarios de la Ciudad de Matehuala. El agua que se distribuye en esta Ciudad proviene del área de pozos, ubicada gradiente arriba de los dos pozos contaminados que registramos en la fase de Inspección.

Las muestras de suelo y polvo se colectaron y transportaron en bolsas plásticas estériles. En el laboratorio se procedió a su secado y de inmediato fueron digeridas para su análisis. Las muestras de agua se colectaron en recipientes plásticos lavados con ácido nítrico al 10.0 %. Después de la colecta, las muestras fueron acidificadas con nítrico concentrando y se transportaron bajo refrigeración. En el laboratorio se mantuvieron a 4°C hasta su análisis.

2.2. Análisis Ambiental

- *Método*

.. Los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico y con horno de grafito o flama para plomo y manganeso. Las muestras de agua fueron digeridas con una mezcla de nítrico-perclórico (3.0 : 0.5). Las muestras de suelo y polvo fueron digeridas con horno de microondas utilizando nítrico al 25.0 %.

- *Control de Calidad*

.. Se efectuaron análisis de estándares certificados. Para suelo se utilizó el estandar NIST-SRM 2710 (Montana soil) obteniéndose una recuperación superior al 92 % para todos los metales. Para agua se utilizó un estandar de la EPA con una recuperación para arsénico superior al 94 %.

2.3. Resultados

- *Suelo*

.. En la Tabla 1 se presentan los resultados de los monitoreos de arsénico, plomo y manganeso en suelo superficial del área urbana de Villa de la Paz y de la Colonia Real de Minas. Considerando los niveles de referencia apuntados en el "pie" de la Tabla 1, se definió que el arsénico y el plomo se encuentran en niveles de riesgo para la salud pública, en tanto, el manganeso implica un menor riesgo. Por ejemplo, incluyendo a ambas comunidades, mientras el máximo valor de arsénico se encontró 378 veces por arriba de su EMEG y de que el máximo de plomo se encontró 16 veces por arriba de su valor de referencia, el máximo de manganeso solamente fue cuatro veces superior a su referencia.

Los datos de manganeso y arsénico fueron similares entre Villa de la Paz y la Colonia Real de Minas, sin embargo, los valores de plomo fueron notoriamente superiores en Villa de la Paz. La diferencia puede ser debida a que el proceso para el beneficio del plomo dentro de la planta minera sea eficiente, lo cual permitiría encontrar bajos niveles de plomo en los residuos (lo cual es cierto, ver Tabla 1 del reporte de la fase de Inspección). En tanto, el arsénico, al no ser un metaloide que la planta beneficiadora recupere, mantendrá sus niveles tanto en la planta como en los residuos. Villa de la Paz tiene como fuente principal a la planta de beneficio y la Colonia Real de Minas tiene como principal fuente de contaminación al depósito de los residuos. La planta contaminaría por arsénico y plomo, en tanto los residuos principalmente lo impactarían el ambiente con arsénico.

TABLA 1. CONTENIDO DE METALES EN MUESTRAS DE SUELO SUPERFICIAL

AREA	METALES	n	media	d. E.	rango
VILLA DE LA PAZ	Plomo	9	2399	1046	633 - 4013
	Arsénico	9	2904	2261	875 - 8100
	Manganeso	9	828	262	510 - 1207
COL. REAL DE MINAS	Plomo	3	309	84	215 - 370
	Arsénico	3	2390	249	2215-2675
	Manganeso	3	1002	130	857 - 1106

Guía de referencia de ATSDR para manganeso en suelo = 300 mg/kg (datos para población infantil)².
 Guía de referencia para plomo en suelo = 250 mg/kg³.
 EMEG para arsénico en suelo = 21.4 (estimado en la sección de la fase de inspección).

- Polvo .. En general las concentraciones de los metales en polvo se mantuvieron en el rango de los niveles en suelo, quizá el arsénico en la Colonia Real de Minas se encontró ligeramente por arriba en polvo con respecto a los valores en suelo (Tabla 2). La diferencia entre Villa de la Paz y la Colonia se mantuvo, hubo mayor presencia de plomo en la primera comunidad.

TABLA 2. CONTENIDO DE METALES EN MUESTRAS DE POLVO CASERO

AREA	METALES	n	media	d. E.	rango
VILLA DE LA PAZ	Plomo	12	1824	1260	555 - 5190
	Arsénico	12	2045	1117	352 - 4050
	Manganeso	12	619	232	238 - 1070
COL. REAL DE MINAS	Plomo	6	417	221	220 - 778
	Arsénico	6	4960	3318	1780-9950
	Manganeso	6	928	185	780 - 1250

- *Agua*

.. El agua obtenida en los grifos domésticos de la Ciudad de Matehuala y en Villa de la Paz, en ningún momento superaron los 20 µg/L de arsénico y la mayoría estuvo en el rango de los 10.0 µg/L que es el nivel de la recomendación de la Organización Mundial de la Salud⁴. Esto significaría que la contaminación registrada al oeste del acuífero, todavía no alcanza la zona de pozos ubicada gradiente arriba y al este del área contaminada. No obstante, debido a la sobreexplotación que se está dando en la zona de pozos, podría generarse un cono de abatimiento y entonces la contaminación podría llegar fácilmente al área de pozos.

3. SELECCION DE CONTAMINANTES CRITICOS

Debido a que el arsénico y el plomo superaron los niveles en suelo y a que sus concentraciones en polvo se mantuvieron altas, estos contaminantes permanecen con la clasificación de críticos. En cuanto al manganeso, se decidió no seleccionarlo debido a que

apenas superó su criterio de referencia y considerando su baja capacidad de absorción. El cálculo de la EMEG para arsénico fue tomado del reporte correspondiente a la Inspección Preliminar (recordar que no puede haber EMEG para plomo debido a que este metal carece de dosis de referencia).

- *Arsénico Suelo*

$$\text{EMEG}_{\text{suelo}} = \frac{0.0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{0.00035 \text{ (kg/día)}} = \frac{0.0075 \text{ (mg/día)}}{0.00035 \text{ (kg/día)}} = 21.4 \text{ mg/kg}$$

- *Arsénico Agua*

$$\text{EMEG}_{\text{agua}} = \frac{0.0003 \text{ (mg/kg/día)} \times 25 \text{ (kg)}}{1.0 \text{ (L/día)}} = \frac{0.0075 \text{ (mg/día)}}{1.0 \text{ (L/día)}} = 0.0075 \text{ mg/L} = 7.5 \text{ } \mu\text{g/L}$$

4. ANALISIS PRELIMINAR DE LAS RUTAS DE EXPOSICION

TABLA 3. RUTAS DE EXPOSICION

NOMBRE DE LA RUTA	FUENTE	MEDIO DEL AMBIENTE	PUNTO DE EXPOSICION	POBLACION RECEPTORA	PASADA, PRESENTE o FUTURA	COMPLETA O POTENCIAL
Suelo	depósito planta benefi	suelo superf	areas de recreación	niños	presente	completa
Polvo	depósito planta benefi	polvo doméstico	vivenda	niños	presente	completa
* Agua	acuífero subterráneo	agua	estanque de CerritoBlanco	niños	presente	completa
Acuífero	arroyo La Paz	agua	grifos	todas la comunidades	futura	potencial
** Partículas	depósito planta benefi	aire	comunidad	todos los miembros	presente	potencial

Alguna de las fuentes son el depósito de residuos mineros ubicado frente a la Colonia Real de Minas y la planta de beneficio localizada en la comunidad de Villa de la Paz. (*) La ruta

de agua fue evaluada durante la fase de Inspección. (**) La ruta de partículas no ha sido evaluada y por eso se define como potencial.

5. ESTIMACION PRELIMINAR DEL RIESGO

5.1. Identificación del Contaminante

Ya se efectuó durante el análisis correspondiente a la fase de Inspección Preliminar.

5.2. Análisis Dosis-Respuesta

El arsénico es un químico cancerígeno, sin embargo, para nuestro análisis hemos seleccionado niños como el grupo de alto riesgo. Por lo cual, la discusión será centrada en los efectos no cancerígenos de este contaminante y no se realizará la caracterización del riesgo cancerígeno.

Tabla 4. Dosis-Efecto Para Exposición Infantil al Arsenico.

CLASIFICACION	DOSIS ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{día}$)	EFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0.30	lesiones dérmicas	5
LOAEL *	2.60	efectos neurológicos	6

(*) estudio en niños de 25 kg de peso.

TABLA 5. Efectos del Plomo en Niños en Relacion al Nivel de Plomo en Sangre.

Plomo en Sangre ($\mu\text{g} / \text{dl}$)	Efecto
10	* Disminución de la Estatura * Disminución del Coeficiente Intelectual
15	* Alteraciones en los niveles de Vitamina D ?
20	* Disminución en la conducción nerviosa periférica

Datos obtenidos de CDC, 1991⁷ y ATSDR, 1993⁸.

5.3. Estimación de la Dosis de Exposición

El nivel de arsénico en suelo que fue empleado para la estimación de la exposición, fue de 2904 mg/kg. Este nivel es el valor promedio de Villa de la Paz, pero engloba a los niveles de arsénico de la Colonia Real de Minas y es representativo de Villa de la Paz de acuerdo a los niveles individuales de las nueve muestras analizadas en dicha comunidad. El valor de arsénico en polvo fue 2045 mg/kg (nivel promedio en Villa de la Paz) y el nivel de arsénico en agua fue de 14 µg/L que es el nivel encontrado en este poblado. Debido a que ahora contamos con los datos reales de plomo en sangre, la caracterización del riesgo no consideró el modelaje con el IEUBK (ver resultados de esta sección en el reporte de la fase de Inspección).

ESTIMACION DE LA EXPOSICION POR SUELO

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

Dosis es la dosis de exposición que estamos estimando.
Conc. concentración del contaminante en el suelo = 2904 mg/kg
TI tasa de ingestión diaria de suelo = 350 mg niño⁹
PC * peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad)
FE factor de exposición = 11% de biodisponibilidad¹⁰

$$= \frac{(2904 \text{ mg/kg}) (350 \text{ mg/día}) (1 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}) (0.11)}{25 \text{ kg}} = 0.0044 \text{ mg/kg/día} = \mathbf{4.4 \text{ µg/kg/día}}$$

ESTIMACION DE LA EXPOSICION POR POLVO

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

Dosis es la dosis de exposición que estamos estimando.
Conc. concentración del contaminante en el suelo = 2045 mg/kg
TI tasa de ingestión diaria de suelo = 35 mg niño⁹
PC * peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad)
FE factor de exposición = 11% de biodisponibilidad¹⁰

$$= \frac{(2045 \text{ mg/kg}) (35 \text{ mg/día}) (1 \times 10^{-6} \text{ kg/mg}) (0.11)}{25 \text{ kg}} = 0.0003 \text{ mg/kg/día} = \mathbf{0.3 \text{ µg/kg/día}}$$

25 kg

ESTIMACION DE LA EXPOSICION POR AGUA

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

Dosis es la dosis de exposición que estamos estimando.
Conc. concentración del contaminante en el agua = 14 µg/L
TI tasa de ingestión diaria de agua = 1 L/día
PC * peso corporal = 25 kg infante (6 a 9 años de edad).

$$= \frac{(0.014 \text{ mg/L}) \times (1 \text{ L/día})}{25 \text{ kg}} = 0.0005 \text{ mg/kg/día} = 0.5 \text{ µg/kg/día}$$

5.4. Estimación de la Dosis Total de Exposición

Suelo	4.4	µg/kg/día
Polvo	0.3	µg/kg/día
Agua	0.5	µg/kg/día
Total	5.2	µg/kg/día

5.5. Caracterización del Riesgo No Cancerígeno para Arsénico

Tabla 6. Dosis-Efecto Para Exposicion Infantil al Arsenico.

CLASIFICACION	DOSIS (µg/kg/día)	EFECTO BUSCADO	REFERENCIA
RfD	0.30	lesiones dérmicas	5
LOAEL	* 2.60	efectos neurológicos	6
VILLA DE LA PAZ	5.20		

(*) estudio en niños de 25 kg de peso.

1. Severidad del Efecto en Salud = La dosis estimada en Villa de la Paz resultó estar en el rango de la LOAEL para efectos neurológicos, los cuales son considerados serios.
2. Relación Dosis Estimada/RfD = $5.6 / 0.3 = 18.7$
3. Población expuesta = > 500 niños en el área de máximo riesgo.

5.6. Factores Asociados al Riesgo

Se mantiene el marco definido en la fase de Inspección. En cuanto a la Nutrición, se considera que pueden existir deficiencias nutricionales debido a que el nivel socioeconómico de la población en el sitio de estudio es bajo. Por otro lado, un panorama de las enfermedades microbianas en la población infantil fue obtenido mediante entrevistas con personal médico local. La carencia de agua potable en algunas zonas fomenta las infecciones gastrointestinales. Asimismo, los hábitos de higiene no aparentan ser eficientes. Finalmente, durante la visita al sitio, llamó la atención que en la Colonia Real de Minas se carece de áreas recreativas para la población infantil; por lo tanto, los niños juegan al aire libre, precisamente en las zonas donde fueron detectados los mayores niveles de arsénico en suelo.

5.7. Análisis Final

Los niveles en suelo, polvo y agua permiten definir un escenario donde el niño se expone a concentraciones variables de arsénico a través de su contacto con los diversos medios del ambiente. Los niveles acumulados permiten estimar una dosis de exposición global que es aproximadamente 20 veces superior a la dosis de referencia. Considerando este resultado y la exposición simultánea al plomo, podemos asumir riesgo neurológico. Nuestro grupo ha definido cambios neuroconductuales en niños expuestos al arsénico⁶ y a nivel experimental se ha registrado que los residuos mineros son neurotóxicos¹¹. Asimismo, hemos demostrado que una interacción entre el arsénico y el plomo pudiera ser más neurotóxica que sus componentes individuales¹².

6. BIOMARCADORES DE EXPOSICION AL ARSENICO Y AL PLOMO

6.1. Selección de los Niños

Los niños que se estudiaron fueron todos aquellos cuyos padres autorizaron la toma de muestras (sangre venosa y orina). Los niños tuvieron una edad de 3 a 6 años y son alumnos de los dos únicos centros preescolares de Villa de la Paz. Se colectaron muestras de la primera orina del día en frascos lavados con ácido nítrico diluido y las muestras de sangre se tomaron empleando "vacutainers" libres de plomo en presencia de EDTA como anticoagulante.

6.2. Análisis Biológico

- *Método*

.. Los metales fueron cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para arsénico y con horno de grafito para plomo. Las muestras de orina fueron digeridas con una mezcla de nítrico-perclórico-sulfúrico (3 ml / 0.5 ml / 0.5 ml). La sangre fue tratada con fosfato de amonio como modificador de matriz y con Tritón X-100 al 0.5 % como digestor celular. Los análisis se efectuaron por duplicado independiente. El material analítico y de colecta fue lavado con una solución de ácido nítrico al 10%, enjuagando con agua desionizada antes de su uso.

- *Control de Calidad*

.. Para arsénico en orina se efectuaron análisis de un estandar certificado (NIST-SRM 2670) obteniéndose una recuperación del $108.5 \pm 9.6\%$. En cuanto al control de plomo en sangre, nuestro laboratorio se encuentra enrolado en el programa de calibración del Centro para el Control de las Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos.

6.3. Resultados

- *Plomo en Sangre*

.. En la Tabla 7 se presentan los resultados obtenidos al estudiar 175 niños de Villa de la Paz. Puede advertirse que los niños provenientes del Centro Preescolar ubicado en el poblado mismo de Villa de la Paz (Kinder 1), tuvieron mayores niveles de plomo en sangre, en comparación a los niños del Centro Preescolar ubicado en la Colonia Real de Minas (Kinder 2). Más importante aún es que en el Kinder 1 registramos mayor porcentaje de niños cuyos valores de plomo en sangre superaron los 15 $\mu\text{g}/\text{dl}$. El que haya mas plomo en el Kinder 1 checa muy bien con los datos de plomo en suelo. En Villa de la Paz se encontraron mayores concentraciones de plomo en suelo en comparación con la Colonia Real de Minas.

- *Arsénico en Orina*

.. En la Tabla 8 se presentan los datos obtenidos al estudiar 112 niños de Villa de la Paz. No se tuvo el mismo número de niños que en el caso de plomo en sangre, porque no todos entregaron sus muestras de orina. Puede advertirse que la diferencia en la concentración media de arsénico en orina, entre los niños de los dos Centros Preescolares, fue mínima. Sin embargo, el porcentaje de niños con niveles mayores a 50 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina y 100 $\mu\text{g}/\text{g}$ creatinina si fue superior en el Kinder 1. Curiosamente los niveles de arsénico en suelo no fueron muy distintos entre el poblado de Villa de la Paz y la Colonia Real de Minas, aunque las mayores concentraciones si se registraron en Villa de la Paz.

Tabla 7. Niveles de plomo en sangre en niños de la villa de la paz ($\mu\text{g}/\text{dl}$)

	n	MEDIA	D.E.	RANGO	porcentaje	porcentaje	porcentaje
--	---	-------	------	-------	------------	------------	------------

					> 10 µg/dl	> 15 µg/dl	> 20 µg/dl
Kinder 1	68	11.6	4.7	3.0 - 25.0	54.4	22.1	2.9
Kinder 2	107	7.2	3.5	1.7 - 20.6	16.8	2.8	0.9
Total	175	8.9	4.6	1.7 - 25.0	31.4	10.9	1.7

n (número de niños estudiados). Media (media aritmética). D.E. (desviación estándar). Kinder 1 (José Cerrillo, ubicado en la cabecera municipal). Kinder 2 (Alfaro Siqueiros, ubicado en la colonia Real de Minas). Total (los datos incluyen a todos los niños). Valor normal de plomo en sangre : Menor a 10 µg/dl. Valor para la acción ambiental (vigilancia de fuentes contaminantes) : Mayor a 15 µg/dl. Valor para la acción médica : Mayor de 25 µg/dl

Tabla 8. Niveles de arsenico en orina en niños de la villa de la paz (µg/g creatinina)

	n	MEDIA	D.E.	RANGO	porcentaje > 50 µg/gc*	porcentaje >100 µg/gc*
Kinder 1	62	76.2	2.0	18.8 - 497.7	87	66
Kinder 2	50	63.9	1.9	17.7 - 248.7	31	24
Total	112	70.5	1.9	17.7 - 497.7	71	28

n (número de niños estudiados). Media (media aritmética). D.E. (desviación estándar). Kinder 1 (José Cerrillo, ubicado en la cabecera municipal). µg/gc (µg/g creatinina). Kinder 2 (Alfaro Siqueiros, ubicado en la colonia Real de Minas). Total (los datos incluyen a todos los niños). Valor normal de arsénico en orina para niños no expuestos : menor a 50 µg/g creatinina. Valor anormal de arsénico en orina para niños: mayor a 100 µg/g creatinina.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

1. Encontramos evidencia de contaminación en suelo y polvo. En suelo por arsénico, plomo y manganeso. En polvo por arsénico y plomo. La contaminación en suelo por plomo se presentó en mayores niveles en la comunidad de Villa de la Paz. En tanto, la de arsénico en polvo se registró mayormente en la Colonia Real de Minas. Las concentraciones de arsénico en suelo en ambas zonas fueron similares entre sí. Los resultados pueden deberse a que la planta de beneficio contamina tanto por plomo como por arsénico, en tanto los residuos solo serían fuente de

contaminación para arsénico. Los residuos tienen menos plomo porque éstos son recuperados en la planta de beneficio. La planta es la principal fuente contaminante para la comunidad de Villa de la Paz y los residuos son la fuente primaria para la Colonia Real de Minas. Los mayores niveles de arsénico en polvo en las viviendas de la Colonia Real de Minas, pueden reflejar el hecho de que para la construcción de éstas, se utilizaron residuos mineros. Otra explicación sería que los vientos transportan el material desde el depósito de los residuos hasta el interior de las viviendas.

2. El acuífero de Matehuala es una zona de riesgo ya que encontramos dos pozos con altos niveles de arsénico. Esta conclusión no se cambia ahora que registramos concentraciones normales de arsénico en la red municipal de esta Ciudad. El resultado solamente indicaría que la zona de pozos, de donde Matehuala toma su agua, todavía no está impactada por arsénico.
3. Las rutas de exposición que fueron identificadas son la ingesta de suelo en áreas de recreación infantil y la ingesta de polvo al interior de las viviendas. La ruta de inhalación y/o ingesta de partículas suspendidas en el aire no fue evaluada pero existe una alta probabilidad de que esté siendo muy importante, sobre todo para la Colonia Real de Minas en época de estiaje. La ruta de agua por la contaminación del acuífero se deja como una futura ruta. Es probable que el acuífero de Matehuala se contamine de no tomarse medidas inmediatas de restauración.
4. La dosis de exposición a arsénico, calculada para la población infantil, resultó ser cerca de 20 veces superior a la dosis de seguridad. Ello indica un claro riesgo de exposición.
5. La exposición al arsénico se confirmó con los datos del biomonitoreo. Aunque no hubo una diferencia clara entre la comunidad de Villa de la Paz y la Colonia Real de Minas, en ambos lugares el promedio de arsénico en orina superó los 50 µg/g creatinina que representa el valor normal. Además, en la comunidad de Villa de la Paz el 66% de los niños estudiados superaron la concentración de 100 µg/g creatinina que es un nivel anormal de arsénico urinario.
6. Los niños de la comunidad de Villa de la Paz registraron mayores valores de plomo en sangre que los niños de la Colonia Real de Minas. Además, el 22% de los niños en esta comunidad superaron los 15 µg/dl de plomo sanguíneo, que es un valor definido como de riesgo en salud.
7. Los niños de Villa de la Paz y de la Colonia Real de Minas tienen un riesgo de daño neurológico. En primer lugar, hemos demostrado que los residuos son neurotóxicos. En segundo término, la dosis de exposición al arsénico estimada para los niños de estos lugares, es mayor que la estimada para niños de una zona metalúrgica en los cuales encontramos daño neuropsicológico asociado al arsénico. En tercer término, el arsénico y el plomo son neurotóxicos y los niños presentaron altos niveles de exposición a ambos metales.

6.2. Recomendaciones

1. De inmediato deben iniciarse los programas para la restauración ambiental del sitio. Dicho programa deberá incluir tanto a la planta de beneficio como al depósito de residuos mineros.

2. El acuífero de Matehuala debe ser vigilado. Por consiguiente, deberán realizarse monitoreos ambientales de arsénico una vez por año. Al mismo tiempo, habría que efectuar estudios para generar medidas de explotación racional, a fin de que la zona de pozos no se contamine con el metaloide.
3. En el corto plazo habrá que establecer un estudio para definir entre la población infantil, el daño ocasionado por los metales. Los estudios podrían incluir el daño por radicales libres, la evaluación de la apoptosis y sobre todo, el daño neuropsicológico.
4. Deberán establecerse tres tipos de programas educativos. Uno médico a fin de que el personal de la salud se entere de los riesgos ocasionados por arsénico y plomo. Otro entre los infantes a fin de que aprendan a no exponerse a los metales (por ejemplo que laven sus manos, limpien sus juguetes y no comas tierra). Finalmente, uno tercero entre el sector educativo a fin de reforzar aquellas actividades que incidan en la posible deficiencia en el aprendizaje ocasionada por plomo.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ATSDR (1994) Environmental Data Needed for Public Health Assessments. A Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
2. ATSDR (1992) Health Assessment Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US Department of Health & Human Services. Lista de valores para las guías ambientales de evaluación, suelo.
3. Madhavan S, Rosenman KD y Shehata T (1989) Lead in soil: recommended maximum permissible levels. *Env. Res.* 49: 136-142.
4. OMS (1995) Guías para la calidad del agua potable. Organización Mundial de la Salud, Ginebra, p. 180.
5. EPA (1992) Second draft for the drinking water criteria document on arsenic. U.S. Environmental Protection Agency.
6. Calderón J, Navarro ME, Jiménez-Capdeville ME y Díaz-Barriga F (1998) Neurobehavioral effects among children exposed chronically to arsenic, cadmium and lead. 3rd International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects. San Diego, Estados Unidos.
7. CDC (1991) Preventing lead poisoning in young children. Centers for Disease Control US Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
8. ATSDR (1993). Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia.
9. Yáñez L, Calderón J, Carrizales L y Díaz-Barriga F (1997) Evaluación del Riesgo en Sitios Contaminados con Plomo Aplicando un Modelo de Exposición Integral (IEUBK). En : Evaluación de Riesgos para la Salud en la Población Expuesta a Metales en Bolivia (Díaz-Barriga F, ed.) Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud OPS/OMS. pp. A-1 a A-17.
10. Freeman GB, Schoof RA, Ruby MV, Davis AO, Dill JA, Liao SC, Lapin CA y Bergstrom PD (1995) Bioavailability of arsenic in soil and house dust impacted by smelter activities following oral administration in *Cynomolgus* monkeys. *Fund. Appl. Toxicol.* 28: 215-222.

11. Rodríguez VM, Dufour L, Carrizales L, Díaz-Barriga F y Jimenez-Capdeville ME (1998) Effects of oral exposure to a mining waste on in vivo dopamine release from rat striatum. *Environmental Health Perspectives*. En prensa.
12. Mejía JJ, Díaz-Barriga F, Calderón J, Ríos C y Jiménez-Capdeville ME (1997) Effects of Lead-Arsenic Combined Exposure on Central Monoaminergic Systems. *Neurotoxicology and Teratology* 19: 489 - 497.

AGRADECIMIENTO AL CONACYT - SISTEMA MIGUEL HIDALGO (RN 26 / 96)

Bibliografía

ATSDR (1992) Public Health Assessment Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta Georgia. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida. Una traducción al español de esta publicación ha sido producida por el Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Institución que también lo distribuye.

ATSDR (1992) Interim Petitioned Public Health Assessment Response Procedures and Decision Criteria; Notice. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Federal Register August 18, 37382-37389.

ATSDR (1994) Environmental Data Needed for Public Health Assessments. A Guidance Manual. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta Georgia.

CDC (1984) A system for prevention, assessment, and control of exposures and health effects from hazardous waste sites. Centers for Disease Control, U.S. Department of Health and Human Services.

Cox L.A., and Rici P.F. (1989) Risk, uncertainty, and causation: quantifying human health risks. en : *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards: A Textbook of Case Studies*. (Paustenbach D.J., ed.) pp. 125-156; John Wiley & Sons, New York.

EPA (1989) Exposure Assessment Methods Handbook. United States Environmental Protection Agency; Washington, D.C.

EPA (1991) Hazard Ranking System; Final Rule. United States Environmental Protection Agency; Federal Register, December 14, 51532-51667.

EPA (1993) A Guidebook to Comparing Risks and Setting Environmental Priorities. United States Environmental Protection Agency; Washington, D.C.

EPA (1994) Guidance Manual for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children. United States Environmental Protection Agency; Research Triangle Park, North Carolina.

EPA (1994) Similarities and differences between ATSDR Public Health Assessments and USEPA Risk Assessments under Superfund. Report to the ATSDR/EPA Mid-Level Managers Forum. United States Environmental Protection Agency; Washington, D.C.

Farland W., and Dourson M. (1993) Noncancer health endpoints: approaches to quantitative risk assessment. en : Comparative Environmental Risk Assessment (Cothorn R.C., ed.) pp. 87-106; Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida.

Haas C.N. (1983) Estimation of risk due to low doses of microorganisms: a comparison of alternative methodologies. *Am. J. Epidemiol.* 118: 573-582.

Marsh G.M., and Day R. (1991) A model standardized risk assessment protocol for use with hazardous waste sites. *Environ. Health Perspect.* 90: 199-208.

Naugle D.F., and Pierson T.K. (1991) A framework for risk characterization of environmental pollutants. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 41: 1298-1307.

Paustenbach DJ (1989) A survey of health risk assessment. en : *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards: A Textbook of Case Studies.* (Paustenbach D.J., ed.) pp. 27-124; John Wiley & Sons, New York.

Rose J.B., Haas C.N., and Regli S. (1991) Risk assessment and control of waterborne giardiasis. *Am. J. Publ. Health* 81: 709-713.

Silbergeld E.K. (1993) Revising the risk assessment paradigm: limits on the quantitative ranking of environmental problems. en : *Comparative Environmental Risk Assessment* (Cothorn R.C., ed.) pp. 73-77; Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida.

Wilson J.D. (1993) It is possible to do quantitative assessment of relative risk. en: *Comparative Environmental Risk Assessment* (Cothorn R.C., ed.) pp. 79-85; Lewis Publishers, Boca Ratón, Florida.

Zamuda C. (1989) Superfund risk assessments: The process and past experience at uncontrolled hazardous waste sites. en : *The Risk Assessment of Environmental and Human Health Hazards: A Textbook of Case Studies.* (Paustenbach D.J., ed.) pp. 266-295; John Wiley & Sons, New York.