

Guía Técnica para Orientar la  
Elaboración de Estudios de  
Evaluación de Riesgo Ambiental  
de Sitios Contaminados

**José Luis Luege Tamargo**

Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales

**Adrián Vázquez Gálvez**

Subsecretario de Gestión para la Protección Ambiental

**José Ernesto Navarro Reynoso**

Director General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas

**Juan Manuel Aguilar Estévez**

Director de Restauración de Sitios Contaminados

**Winfried Schmidt**

Asesor, Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ)  
Componente Sitios Contaminados y Residuos Peligrosos



**Título** Guía Técnica para orientar la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgo Ambiental de Sitios Contaminados

**Autor** Dr. Ing. Ulises Ruíz Saucedo

**Participaron en la edición y diseño gráfico** Dra. Cecilia Robles Mendoza  
D. C. G. Alfredo Quiroz

**Publicado** Primera edición, Julio 2006

D. R. © SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines Núm. 4209, Col. Jardines en la Montaña,  
Tlalpan, 14210, México, D.F.

**Direcciones** Subsecretaria de Gestión para la Protección Ambiental (SGPA)  
Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR)  
Proyecto Sitios Contaminados y Residuos Peligrosos  
Av. Revolución No. 1425, Nivel 27  
Col. Tlacopac San Angel, 01040 México, D.F.  
Tel: 5624-3387

**Web** Esta publicación es disponible a través de la página de Internet de SEMARNAT y de la GTZ  
<http://www.semarnat.gob.mx>  
<http://www.gtz.de>

## Contribuciones:

- Dra. Cecilia Robles Mendoza Departamento de Ecología y Recursos Naturales  
Facultad de Ciencias, Laboratorio Ecofisiología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Dra. Cecilia Vanegas Pérez Departamento de Ecología y Recursos Naturales  
Facultad de Ciencias, Laboratorio Ecofisiología  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Dra. Silke Cram Instituto de Geografía, Laboratorio de Análisis Físicos y  
Químicos del Ambiente (LAFQA)  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Dr. Fernando Díaz-Barriga Facultad de Medicina  
Dr. Arturo Torres Dosal Unidad de Toxicología Ambiental  
Dr. Jesus Mejia Savedra Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
M. en C. Guillermo Espinosa R.  
M. en C. Cesar A. Ilisaliturri H.  
M. en C. Donagi Gonzales M.
- Dra. Susana Saval Instituto de Ingeniería  
Bioprocesos Ambientales  
Universidad Nacional Autónoma De México (UNAM)
- Dra. Rosa Maria Flores Instituto de Ingeniería  
Ingeniería Ambiental  
Universidad Nacional Autónoma De México (UNAM)
- Dra. Patricia Ramírez Romero Universidad Autónoma Metropolitana UAM - Iztapalapa  
Asociación Mesoamericana y de Ecotoxicología y Química  
Ambiental (AMEQA) (aun por definir)
- Dr. Javier Llamas Universidad Autónoma de Aguascalientes
- Dr. Miguel Betancourt Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.  
Unidad Mazatlán
- Dr. Jaime San Román Director de Vigilancia y Verificación de Impacto Ambiental y  
Peritajes, PROFEPA
- Dr. Mario Yarto Director de Investigación sobre  
Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos  
Instituto Nacional de Ecología (INE)
- M. C. Irina Ize Lema Subdirección de Investigaciones para Riesgos Ambientales  
Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos  
Instituto Nacional de Ecología (INE)
- M. C. Miguel Ángel Martínez Departamento de Evaluación de Riesgos Ambientales  
Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos  
Instituto Nacional de Ecología (INE)
- M. C. Martha Islas Ramírez Subdirectora de Investigación en Sitios Contaminados y  
Sustancias Tóxicas. Centro Nacional de Investigación y  
Capacitación Ambiental (CENICA).



## **Agradecimientos a:**

Dra. Silke Cram, Dra. Rosa Maria Flores, M. C. Martha Ramírez, Dr. Arturo Torres, Dra. Cecilia Vanegas por sus contribuciones y su ayuda en la revisión del anexo 1 y por los anexos M y N, Dra. Susana Saval Bohórquez por sus contribuciones y correcciones en especial las tablas de datos del anexo G. Regina Vázquez Ponciano por la recopilación y lista de documentos consultados.

Dr. Fernando Díaz-Barriga, Dr. Arturo Torres Dosal y sus colaboradores de la UASLP por los documentos básicos de los anexos metodológicos 1 y 2, M. C. Irina Ize Lema, M. C. Miguel Ángel Martínez, , Dr. Mario Yarto por sus contribuciones y por los documentos base que conforman los anexos 1 “Método para la elaboración de Estudios de Riesgo Ambiental” y anexo 2 “Método para la elaboración de Estudios de Riesgo Ambiental, cuando poblaciones humanas puedan ser receptoras” y la organización del taller en 2005.

Ing. María de Lourdes Aduna Barba, Gerente de Desarrollo Sustentable de CANACERO, Ing. Mariela Morales Oyarzábal, Representante de CAMIMEX, Lic. Paloma Garcías Segura, Coordinadora Jurídica de Medio Ambiente de CAMIMEX, Ing. José de Jesús López García, Integrante de la Comisión de Medio Ambiente de la CAMIMEX, M. en I. Margarita Ferat Toscano, Gerente Corporativo Control Ambiental (DESC) de ANIQ e Ing. Javier Pérez Gómez, Gerente de Medio Ambiente de ANIQ.

Dra. Cecilia Robles Mendoza por la gran ayuda en la revisión, correcciones y en la redacción final de la guía y sus anexos.

Dr. Wini Schmidt de GTZ/GOPA por su ayuda y apoyo.

Lic. Oralia Resendiz, Ing. Juan Manuel Aguilar, Director de DRSC e Ing. José Ernesto Navarro Reynoso, Director General de DGGIMAR por su apoyo en la publicación de guía.

Los colegas de la Dirección de Restauración de Sitios Contaminados por su ayuda en la realización de este proyecto de la dirección.



# Índice

Agradecimientos	
Contribuciones	
Prólogo	11
Introducción	13
Objeto de la guía	15
Lista de abreviaturas	17
1 Instrucciones	19
2 Datos generales	19
3 Contenido de un Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental (recursos naturales y población humana)	20
Nivel 0, caso A	20
Nivel 0, caso B	24
4 Contenido de un Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental (recursos naturales, áreas naturales protegidas, especies protegidas)	30
Nivel 1	30
Nivel 2	35
Nivel 3	40
5 Programa de Remediación del Suelo Contaminado	45
6 Glosario	48
ANEXO 1 Método para la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental	67
ANEXO 2 Método para la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental, cuando los receptores son seres humanos	109
ANEXO A Contenido del estudio de caracterización de un sitio contaminado	135
ANEXO B Ejemplo de la estrategia general seguida en un estudio de evaluación de riesgo ambiental	145
ANEXO C Diagrama de flujo de las etapas de la evaluación de riesgos ambientales	149
ANEXO D Matriz de decisión para determinar el nivel de estudio de evaluación de riesgo ambiental a desarrollar	157
ANEXO E Métodos de prueba para la evaluación de la lixiviación de contaminantes de suelos	163
ANEXO F Evaluación de la movilidad de los contaminantes en el suelo	192
ANEXO G Tabla de las propiedades físico-químicas de compuestos de preocupación potencial	224
ANEXO H Tablas de datos para el cálculo de la exposición	241
ANEXO I Método para estimar los valores de evaluación de medios ambientales	254
ANEXO J Modelo conceptual de sitios contaminados	256
ANEXO K Método de cálculo para determinar los niveles de remediación	262
ANEXO L Programa de remediación	272
ANEXO M Biomarcadores	274
ANEXO N Índices bióticos	280
Índice de documentos y referencias	290
Lista de asistentes al taller de evaluación de riesgo ambiental, 2005	314



# Prólogo



**José Luis Luege Tamargo**  
Secretario de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
*México D. F. Agosto 2006*

La evolución del ser humano y la diversificación de sus actividades en el campo industrial han traído consigo severas consecuencias para el medio ambiente, por lo que su mejoramiento y la preservación de los recursos naturales a través de la recuperación de las zonas afectadas por la mano del hombre es una de las prioridades de nuestra administración. En el amplio espectro étnico, social, político y económico no hay espacio para la duda; por lo que es innegable la necesidad de una normatividad en consonancia con la dinámica social prevaleciente.

Hablar de normatividad ambiental no constituye solamente la construcción de un engranaje que imponga obligaciones a sociedad, implica en el fondo un profundo deseo de su desarrollo y conservación de su medio ambiente y entorno natural.

En este sentido, importantes organizaciones educativas, científicas, sociales y gubernamentales comprometidas con el bienestar de nuestro entorno, en el espacio de casi dos años dedicaron su esfuerzo en conjunción con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales a la revisión continua del documento que hoy presento, hasta alcanzar un consenso sin precedentes, y definir la **“guía técnica para orientar la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados”**.

La Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) define la evaluación de Riesgo Ambiental como “El proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman”

Mediante la evaluación de riesgos ambientales se obtiene la información necesaria para tomar una decisión respecto a la estrategia a seguir en la remediación de un sitio contaminado.

Los estudios de riesgo ambiental son utilizados para definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para el medio ambiente como para la salud. Así mismo nos permite definir los niveles de remediación específicos del sitio en función del riesgo aceptable.

De ahí que el objetivo principal que se establece en esta guía es dar una orientación para encaminar la evaluación de sitios, homogeneizando el contenido de los estudios y disminuyendo los tiempos de gestión. La evaluación de sitios contaminados en la guía, comprende un método general para el análisis “caso por caso”, cada uno de los cuales con fundamento, evidencia y soporte específicos.

Sin embargo el fin último lo constituye el compromiso ineludible con el presente y futuro de la nación, de la conservación de nuestro medio ambiente, ya que de ello depende la factibilidad que como sociedad tengamos en el futuro.



## Introducción

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) ha proporcionado el marco de referencia para la aplicación de la evaluación de riesgos ambientales como un instrumento para determinar las acciones de remediación para sitios contaminados. La Ley define la evaluación de riesgo ambiental como un...“Proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman”.

En sitios contaminados la evaluación de riesgos se centra en la estimación de los efectos adversos y en la obtención de la información de base necesaria que permitan tomar una decisión respecto a la remediación del sitio. En este proceso se recopila y sistematiza la información generada en la caracterización y el estudio histórico de un sitio contaminado, con el fin de entender las relaciones y causalidades entre la presencia de los contaminantes, las distintas rutas y vías de exposición y los efectos adversos observados en el medio ambiente o los efectos potenciales que pudieran presentarse.

En un sitio contaminado pueden estar involucrados varios contaminantes cada uno con diferentes propiedades fisicoquímicas que aunadas a las condiciones físicas del sitio, hacen que los contaminantes se comporten e incidan de distinta manera en el medio ambiente. Por este motivo, la evaluación del riesgo ambiental involucra metodológicamente distintos tipos de información y hace necesaria la participación de profesionistas provenientes de distintas áreas como son los geólogos, químicos, biólogos, toxicólogos e ingenieros, para poder entender y predecir la relación entre el contaminante, las rutas de exposición y los efectos observados o potenciales.

Esta herramienta es muy útil en la gestión, porque ayuda a entender como en un sitio contaminado, se origina un riesgo al medio ambiente y la salud humana, su magnitud y sus mecanismos de afectación. Así mismo, el estudio de evaluación de riesgo ambiental permite la “toma de decisiones”, en los casos donde por la complejidad y la extensión de la contaminación así como por los elevados costos de remediación, se torna difícil elegir la estrategia más adecuada, que garantice la reducción de la contaminación, la reducción de la exposición a niveles aceptables y la remediación a costos aceptables para la sociedad.

Por ello la presente guía técnica se enfoca en la determinación de los riesgos provocados por la contaminación en sitios donde están involucrados materiales peligrosos, residuos peligrosos o ambos para el medio ambiente y la salud. Para alcanzar este objetivo, se incluyen anexos que apoyan en la evaluación del riesgo de sitios contaminados para los recursos naturales, como lo son el suelo, cuerpos de agua y ecosistemas valiosos. Además de ello se incluyen anexos para orientar en la determinación del riesgo para seres humanos en sitios contaminados como parte de una evaluación integral.

Para un país como México, el cual tiene una amplia variedad de regiones geográficas, paisajes, especies y ecosistemas, es importante contar con un método para determinar los efectos adversos de la contaminación y sus consecuencias al medio ambiente. En especial son de protegerse los ecosistemas y las especies que la legislación mexicana ampara, ya que revertir el deterioro de dichos ecosistemas y regiones y la protección del medio ambiente es una de las principales tareas de SEMARNAT.

Por todo ello, la presente guía técnica representa:

- un paso más en el camino hacia la mejora de la gestión de la remediación de los sitios contaminados en México.
- representa un cambio de perspectiva en cuanto a la generación del conocimiento provechoso para las instituciones públicas, ya que servirá de base para generar la experiencia técnica suficiente, que más adelante podrá ser plasmada en otros instrumentos normativos.
- un cambio en la generación de procedimientos de gestión ajustados a la situación de cada sitio contaminado
- un reenfoque en el proceso de la toma de decisiones para la remediación de un sitio.

Para los actores involucrados como las universidades, las empresas privadas, las instituciones públicas y los prestadores de servicios, esta guía representa una oportunidad de mejora, mediante un método que da claridad y que permite elevar la eficiencia de la gestión.

En ciertos casos generara una sinergia para el inicio de nuevos proyectos de investigación en nuestro país, como se discutió durante los talleres realizados en el 2004 y el 2005 con investigadores de universidades, colegas y consultores.

Esta guía es un instrumento que permitirá obtener valiosas experiencias para mejorar la gestión y normatividad en el campo de la remediación de sitios contaminados, haciéndolas mas sólidas y con una vida útil más larga.

En su calidad de instrumento de gestión es susceptible de ser reestructurada y mejorada, conforme las instituciones públicas y los actores sociales involucrados estén en la situación de proponer los ajusten necesarios para facilitar su aplicación; asumiendo el compromiso de evaluar y revisar las propuestas y reeditarla con base en los resultados obtenidos en casos ejemplares.

México D. F., Julio 2006

## Objeto de la guía

El objeto de esta guía técnica es proporcionar una herramienta práctica y viable para facilitar y orientar la elaboración de los estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados.

También se proporcionan las **directrices y elementos técnicos básicos** para mejorar el nivel de calidad de los estudios a realizar y uniformizar el contenido de información de dichos estudios basándose en lo establecido en el Título V, Capítulo V de la Ley General de Prevención y Gestión de Residuos (LGPGIR) y las Normas Oficiales Mexicanas vigentes. Se proveen criterios de evaluación del riesgo ambiental en sitios contaminados y procedimientos para la remediación de pasivos ambientales.

La evaluación de riesgo ambiental se entiende como un proceso “caso por caso” que deberá ser fundamentado y contar con la evidencia de soporte necesaria. Esta guía no pretende abarcar todos los aspectos de la evaluación de riesgo, por ello, las referencias incluidas en los anexos técnicos (datos y procedimientos) de esta guía son directrices y recomendaciones de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), pudiéndose utilizar métodos que estén reconocidos por los gobiernos nacionales de su país de origen y los datos que existan en la bibliografía internacional.

Esta guía técnica se probó cuando menos en dos casos de estudio representativos, con el fin de verificar la funcionalidad de su aplicación y realizar las adecuaciones necesarias para su mejora.

## Objeto de los estudios de riesgo ambiental

Los estudios de riesgo ambiental tienen como objetivo definir si la contaminación existente en un sitio representa un riesgo tanto para el medio ambiente como para la salud humana, así como los niveles de remediación específicos del sitio en función del riesgo aceptable.

## Recomendaciones de aplicación de los estudios de riesgo ambiental

Se recomienda la aplicación de esta guía cuando exista contaminación de un sitio por materiales peligrosos, residuos peligrosos o ambos y se desee elaborar un Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental de sitios contaminados, el cual permitirá:

1. Establecer acciones de remediación con base en los Niveles de Remediación Específicos del sitio y distintos a los establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas, o
2. Establecer las acciones para disminuir los riesgos y la exposición a los contaminantes que, conforme a la Ley, son parte de la definición de remediación, o
3. Establecer acciones de remediación en el caso de emergencias ambientales que, conforme a lo indicado por la legislación vigente, tengan efectos a largo plazo.

## **Consideraciones generales para la utilización de la guía:**

1. Para la elección de un nivel de estudio según el tipo de área y el tipo de receptor se aplica la matriz de decisión contenida en el anexo D.
2. Para la determinación de los contaminantes críticos se aplicarán las Concentraciones de Referencia o Límites Máximos Permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas, en el caso de que existan dichas normas para los contaminantes.
3. En el caso de que falte información nacional oficial, se podrán aplicar los valores de las Dosis de Referencia (DdR), Factores de Pendiente de Cáncer (FPC) y otros parámetros toxicológicos de los perfiles toxicológicos de instituciones internacionales. La elección será fundamentada.
4. En caso de que el contaminante no este normado y no se desee hacer uso de la guía, el responsable de la contaminación podrá solicitar una reunión a la SEMARNAT para atender su caso y establecer las acciones a seguir.

## **Resultados que se podrán obtener cuando se aplique la guía**

1. Determinación del riesgo ambiental y en su caso a la salud para un sitio contaminado por materiales peligrosos y residuos peligrosos.
2. El riesgo puede determinarse como aceptable o no aceptable en función de la evidencia soportada por el proceso de evaluación de riesgo ambiental.
3. Niveles de Remediación Específicos para la elaboración del programa de remediación.
4. Recomendaciones para disminuir los riesgos y la exposición a los contaminantes.

## Lista de Abreviaturas

ASTDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
DW	Coeficiente de difusión en agua [ $\text{cm}^2/\text{seg}$ ]
Di	Coeficiente de difusión en aire [ $\text{cm}^2/\text{seg}$ ]
K <sub>OC</sub>	Coeficiente de distribución de carbón orgánico en suelos [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ] o [ $\text{L}/\text{Kg}$ ]
Kd	Coeficiente de distribución suelo – agua [ $\text{cm}^3/\text{g}$ ]
CEB	Concentración con una probabilidad de efecto tóxico bajo
C <sub>A</sub>	Concentración de contaminante en aire o fase gaseosa [ $\text{mg}/\text{L}$ ]
C <sub>S</sub>	Concentración de contaminante en suelo [ $\text{mg}/\text{Kg}$ ]
CE	Concentración de exposición [ $\text{mg}/\text{Kg}$ ] o [ $\text{mg}/\text{L}$ ]
C <sub>W</sub>	Concentración de la sustancia contaminante disuelta en agua [ $\text{mg}/\text{L}$ ]
Ca	Concentración del contaminante en alimento [ $\text{mg}/\text{Kg}$ ] o [ $\text{mg}/\text{L}$ ]
CMENO	Concentración mas alta de efecto no observado
H	Constante de la ley de Henry [ $\text{Pa m}^3/\text{moles}$ ]
R	Constante general de gases [ $\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ]
f <sub>OC</sub>	Contenido de carbón orgánico en suelo [ % ]
ρ <sub>B</sub>	Densidad aparente del suelo seco [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]
ρ <sub>S</sub>	Densidad del suelo por partícula [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]
DA	Difusividad aparente [ $\text{cm}^2/\text{seg}$ ]
DE	Dosis de Exposición [ $\text{mg}/\text{Kg}\cdot\text{d}$ ]
DdR	Dosis de Referencia
DMENO	Dosis más alta de efecto no observado
DuE	Duración de la exposición [años]
ERA	Evaluación de Riesgo Ambiental
FAP	Factor de adherencia a la piel ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ )
FBA	Factor de bioacumulación [ - ]
FBC	Factor de bioconcentración [ - ]
FBD <sub>DER</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción en piel del contaminante [%]
FBD <sub>ING</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción gastrointestinal [%]
FBD <sub>INH</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción por inhalación [%]
FEP	Factor de emisión de partículas (Particle Emission Factor)
FCE	Factor de exposición [ - ]
FPC	Factor de pendiente de cáncer (Cancer Slope Factor)
FV	Factor de volatilización [ $\text{m}^3/\text{Kg}$ ]
FVC	Factor volumétrico de conversión = $1 \times 10^{-6}$
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]
IP <sub>i</sub>	Índice de peligro individual de la sustancia i
IP <sub>C-i</sub>	Índice de peligro individual para efectos crónicos
IP <sub>SC-i</sub>	Índice de peligro individual para efectos subcrónicos
IP	Índice de peligro no cancerígeno
IP <sub>C-T</sub>	Índice de peligro total para efectos crónicos
IP <sub>SC-T</sub>	Índice de peligro total para efectos subcrónicos
IR	Índice de riesgo cancerígeno
IRE	Índice de riesgo ecológico
IR <sub>i</sub>	Índice de riesgo individual de la sustancia i
IR <sub>T</sub>	Índice de riesgo total
ING	Ingerido
IE	Intervalo de exposición [ s ]
1/C	Inverso de la concentración promedio
LG-ERA-	Lineamientos generales para realizar estudios de evaluación de riesgos a la salud
COFEPRIS	humana por exposición ambiental a contaminantes

NOAEL	Nivel de efecto adverso no observado (Non Observed Adverse Effect Level)
NRE <sub>DER</sub>	Nivel de Remediación Especifico del sitio por contacto dérmico [ mg/Kg ]
NRE <sub>ING</sub>	Nivel de Remediación Especifico del sitio por ingestión [ mg/Kg ]
NRE <sub>INH</sub>	Nivel de Remediación Especifico del sitio por inhalación [ mg/Kg ]
LOAEL	Nivel más bajo de efecto adverso observado (Lowed Observed Adverse Effect Level)
PC	Peso corporal [Kg]
PM	Peso molecular
PPE	Porcentaje de área de la piel expuesta [%]
nW	Porosidad del suelo rellena de agua [V agua/ V suelo]
nA	Porosidad del suelo rellena de aire nA = n-nW [V aire/ V suelo]
N	Porosidad total del suelo n = 1-(ρB/ρS) [V poros/V suelo]
P <sub>0</sub>	Presión de vapor el punto de saturación [Pa]
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]
RC	Riesgo cancerígeno
R <sub>C</sub>	Riesgo crónico
R <sub>SC</sub>	Riesgo subcrónico
S	Solubilidad en agua [mol/L]
SP	Superficie de la piel del grupo poblacional [cm <sup>2</sup> /evento]
SPD <sub>DER</sub>	Superficie de la piel expuesta (cm <sup>2</sup> /evento) = SP*PPE
TI	Tasa de ingestión [mg/d]
TI <sub>ING</sub>	Tasa de ingestión de suelos [mg/d]
TI <sub>INH</sub>	Tasa de inhalación de vapores o gases [m <sup>3</sup> /h]
T	Temperatura [K]
TMa	Tiempo de vida media en agua [ d ]
TMs	Tiempo de vida media en suelo [ d ]
TSA	Total de suelo adherido [mg]
USEPA	United States-Environmental Protection Agency
VRT	Valor de referencia de toxicidad
VEMA	Valores de evaluación de medios ambientales

## **1 Instrucciones**

- El Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental debe contener un título adecuado el cual indique claramente el sitio de estudio, un índice que refleje el orden como fue realizado el estudio y un resumen ejecutivo.
- El Estudio de Riesgo Ambiental se evalúa con mayor facilidad cuando la información esta contenida en archivos electrónicos estándares como por ejemplo textos en formato Word, tablas en formato Excel, imágenes y fotografías en formato JPG, planos en formato Autocad o compatible a un sistema de información geográfico. Cuando se trata del documento completo para impresión se recomienda el formato PDF.
- Para agilizar y acotar la elección de un nivel de estudio (en especial aquellas donde en el escenario ambiental, se vean afectadas Áreas Naturales Protegidas, ecosistemas valiosos, especies con valor económico y especies protegidas) se recomienda solicitar una reunión previa al inicio de la ejecución del estudio para establecer acuerdos sobre los alcances, la amplitud, los métodos e indicadores del estudio de riesgo ambiental. Esto es válido especialmente en el caso de que especies protegidas o recursos naturales y ecosistemas frágiles y valiosos en Áreas Naturales Protegidas estén en riesgo.
- Para consultas acerca de la elaboración de un Estudio de Riesgo Ambiental puede dirigirse a Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas (DGGIMAR), Av. Revolución 1425, Col. Tlacopac, C.P. 01040, Del. Álvaro Obregón, México, Distrito Federal.



## 2 Datos generales

El Estudio de Riesgo Ambiental contendrá:

- El nombre del responsable técnico.
- El nombre del que elabora el Estudio de Riesgo Ambiental, en su caso.
- Las referencias acerca de su experiencia en la materia, en su caso.
- El nombre de la institución de educación superior o empresa a la que pertenece, en su caso.
- Nivel de estudio que se realizara, según el tipo de área, tipo de receptor e información disponible conforme a la matriz de decisión del anexo D.

Para todos los niveles de estudio se incluye sin excepción lo siguiente:

- Listado de documentos y referencias utilizadas durante la evaluación de riesgo ambiental que incluya título, autor, año de publicación, institución que publica, dirección de Internet en caso de documentos accesibles y otras informaciones pertinentes.
- En la evaluación de un Estudio de Riesgo Ambiental la información con respecto a la extensión de la contaminación en cuerpos de agua (en el caso de que un cuerpo de agua se vea afectado) es imprescindible para evaluar la caracterización del riesgo y la propuesta de remediación contenida en el programa de remediación, por ello se debe incluir la determinación de la extensión de la contaminación en el cuerpo de agua, los resultados de análisis químicos y de pruebas de campo realizadas para los cuerpos de agua afectados.



### 3 Contenido de un Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental

#### Nivel 0, caso A

Cuando los receptores son:

- Solo los recursos naturales no biológicos (suelo y agua)

El tipo de área pueda ser:

- Urbana industrial y/o comercial.
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.)
- Área Natural Protegida (en cualquiera modalidad).

Es de aplicarse el anexo metodológico 1.

3A.1 Definición y formulación del problema basado en la evaluación de la información contenida en el estudio de caracterización, y las investigaciones históricas correspondientes.

La definición y formulación del problema se realiza para todos los niveles de estudio.

- 3A.1.1 Los resultados del estudio de caracterización y de las investigaciones históricas (anexo A).
- 3A.1.2 Descripción del sitio.
- 3A.1.3 Resultados de las visitas efectuadas al sitio (entre otros fotografías).
- 3A.1.4 Un diagrama de flujo de los pasos a seguir durante la Evaluación de Riesgo Ambiental en concordancia con el diagrama del anexo C y (atendiendo la estrategia del anexo B) con las acotaciones y cambios específicos del caso.
- 3A.1.5 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM del predio y sus colindancias inmediatas que contenga lo siguiente: límites del predio, vías de comunicación e infraestructuras colindantes, áreas contaminadas por encima de los límites máximos permisibles (LMP) o concentraciones de referencia (CR), áreas de almacenamiento o disposición de residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial, residuos y materiales peligrosos (en su caso), áreas con apilamientos o enterramientos (en su caso), áreas con concentraciones de contaminantes por debajo de los LMP o CR, instalaciones e edificaciones en el predio.
- 3A.1.6 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM a nivel regional de una institución oficial como Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) u otra que incluya: las características geográficas "vulnerables" como son cuerpos de agua superficiales por ejemplo ríos, lagos, canales; entre otros, infraestructura e instalaciones relevantes para el caso de estudio, poblaciones o asentamientos mas cercanos, vías de ferrocarril, caminos de acceso y de servicios.
- 3A.1.7 Con la información de este numeral se elegirá el nivel de estudio de evaluación de riesgo ambiental de acuerdo con el tipo de área y el tipo de receptor de acuerdo a la matriz de decisión del anexo D.

3A.2 La determinación de los contaminantes o componentes críticos para los ecosistemas y

recursos naturales a proteger y con los cuales se efectuará la evaluación de riesgo.

La determinación de los contaminantes críticos se realiza para todos los niveles de estudio

3A.2.1 Procedimiento de elección conforme al método del anexo 1 o 2.

3A.2.2 Fundamento de la elección.

3A.2.3 Listado de contaminantes o componentes críticos elegidos.

3A.3 La determinación de los factores específicos al sitio que influyen en la exposición y dispersión de los contaminantes.

La determinación de los factores específicos al sitio que influyen en la exposición y dispersión de los contaminantes se realiza para todos los niveles de estudio.

3A.3.1 La determinación de los mecanismos de transporte y exposición de los contaminantes.

3A.3.2 La determinación de las propiedades físico-químicas que influyen en su transporte y exposición de los contaminantes

3A.3.3 La determinación de los factores específicos del sitio que influyen en el transporte y exposición de los contaminantes.

3A.3.4 La determinación de las características de polvos que contienen contaminantes que se generan en el sitio.

3A.3.5 La determinación de la fracción soluble o lixiviados de los contaminantes de suelos.

3A.3.6 Para la determinación de solubles o lixiviados se pueden aplicar las pruebas de laboratorio establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas. En caso de que el contaminante no este normado se aplicara, según el tipo de contaminante, un método que sea adecuado a las condiciones del pasivo ambiental. Las recomendaciones de aplicación y los métodos de prueba y evaluación de la fracción de lixiviados de suelos se halla en el anexo E.

3A.4 La determinación fundamentada de la movilidad de los contaminantes en el suelo y de las funciones de protección y retención del mismo. Esta evaluación se realiza para todos los niveles de estudio siguiendo las recomendaciones del anexo F o un método equivalente.

Las propiedades físico-químicas de los contaminantes mas comunes se encuentran en el anexo G, el cual contiene además las ligas a las fuentes. Son de considerarse en especial las rutas de exposición "suelo – agua" y "suelo – polvos – suelos" para la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos naturales (suelo y agua) a dichos contaminantes y para la evaluación de la movilidad de los contaminantes.

En caso de ser necesaria una determinación detallada de la movilidad de los contaminantes en el suelo se determinara el o los modelos matemáticos y el software a usarse para simular el transporte y dispersión de los contaminantes en el suelo a través de las distintas rutas de exposición. En el estudio se incluyen los resultados de los cálculos y simulaciones realizados para los escenarios de transporte y dispersión de los contaminantes generados por dicho software.

3A.5 La determinación de las rutas y vías de exposición presentes y futuras, completas e

incompletas, se identificaran y describiran los siguientes rubros.

- 3A.5.1 La identificación de las rutas y vías de exposición presentes (incompletas y completas).
- 3A.5.2 La identificación de las rutas y vías de exposición futuras (incompletas y completas).
- 3A.5.3 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición completas y su fundamento.
- 3A.5.4 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición no completas y su fundamento.
- 3A.5.5 El diagrama de rutas y vías de exposición por contaminante crítico.

La ruta de exposición incluye el punto de exposición.

- 3A.6 La determinación de los componentes del ecosistema, que pudieran ser afectados por la contaminación, por ejemplo en el caso de recursos naturales principalmente agua y suelo, y la comprobación de que seres humanos o especies no han sido afectados.

En caso de ser necesario si existen faltantes de información, el plan de caracterización del sitio (adicional) específico para el estudio de riesgo ambiental incluyendo el plan de muestreo y los resultados analíticos.

- 3A.7 La determinación de la toxicidad de los contaminantes a los componentes del ecosistema (principalmente recursos naturales no biológicos) y la evaluación de los efectos.

Identificación de la información toxicológica relevante de los contaminantes críticos elegidos, lo cual incluya la descripción de los efectos adversos cancerígenos y no cancerígenos (agudos, crónicos y subcrónicos).

- 3A.8 La evaluación de los efectos considerándola como la estimación del riesgo ambiental total para todos los recursos naturales (agua y suelo) afectados con base en los contaminantes críticos elegidos, las rutas y vías de exposición determinadas, la evaluación de la movilidad de los contaminantes.

- 3A.9 Elaboración de la hipótesis de exposición total del medio ambiente a los contaminantes críticos a través de un "Modelo Conceptual" en donde se muestre.

- 3A.9.1 Las rutas y vías de exposición.
- 3A.9.2 Los medios físicos afectados y las matrices en donde los contaminantes son móviles y no móviles.
- 3A.9.3 Los riesgos provenientes de contaminantes para el medio ambiente.
- 3A.9.4 Descripción de los posibles efectos o consecuencias adversos al medio ambiente a los riesgos evaluados que se desprenden de la presencia de los contaminantes
- 3A.9.5 La representación gráfica de la información señalada en las fracciones anteriores.
- 3A.9.6 Una descripción de modelo conceptual se halla en el Anexo J.

- 3A.10 La descripción de las suposiciones hechas a lo largo de los cálculos efectuados y de

las limitaciones e incertidumbres de los datos en los cuales se basa la evaluación del riesgo, y la caracterización total del riesgo, entendiendo esta como la conclusión de la evaluación de toda la información anterior.

3A.10.1 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los cálculos efectuados.

3A.10.2 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los datos empleados en los cálculos efectuados en los cuales se basa la evaluación del riesgo ambiental.

3A.10.3 La determinación y la interpretación de las incertidumbres asociadas a la caracterización del riesgo puede requerir la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticos, que muestren los márgenes, distribuciones o intervalos de incertidumbre.

3A.11 Conforme a los resultados de la guía podrán establecerse una o varias de las alternativas siguientes:

3A.11.1 La propuesta de remediación conforme a los Niveles de Remediación Específicos (NRE) del sitio, su fundamento con base en el estudio. En la determinación de los NRE se aplican los métodos y cálculos que se encuentran en el Anexo K.

3A.11.2 El conjunto de medidas que permitan disminuir el riesgo y la exposición y su fundamento con base en el estudio.

3A.11.3 Las medidas de monitoreo y su fundamento con base en el estudio.

Para cualquiera de las alternativas consideradas anteriormente realizar un análisis de su aplicación (consecuencias de su aplicación) y su interacción con el medio ambiente. El contenido del programa de remediación se halla en el anexo L.

## Nivel 0, Caso B

Cuando los receptores son:

- Los recursos naturales no biológicos (suelo y agua) y además seres humanos

El tipo de área pueda ser:

- Urbana industrial y/o comercial.
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.)
- Área Natural Protegida (en cualquiera modalidad).

Son de aplicarse los anexos metodológicos 1 y 2 según corresponda.

3B.1 Definición y formulación del problema basado en la evaluación de la información contenida en el estudio de caracterización, y las investigaciones históricas correspondientes.

3B.1.1 Los resultados del estudio de caracterización y de las investigaciones históricas (anexo A).

3B.1.2 Descripción del sitio.

3B.1.3 Resultados de las visitas efectuadas al sitio (entre otros fotografías).

3B.1.4 Un diagrama de flujo de los pasos a seguir durante la Evaluación de Riesgo Ambiental en concordancia con el diagrama del anexo C y (atendiendo la estrategia del anexo B) con las acotaciones y cambios específicos del caso.

3B.1.5 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM del predio y sus colindancias inmediatas que contenga lo siguiente: límites del predio, vías de comunicación e infraestructuras colindantes, áreas contaminadas por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) o Concentraciones de Referencia (CR), áreas de almacenamiento o disposición de residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial, residuos y materiales peligrosos (en su caso), áreas con apilamientos o enterramientos (en su caso), áreas con concentraciones de contaminantes por debajo de los LMP o CR, instalaciones e edificaciones en el predio.

3B.1.6 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM a nivel regional de una institución oficial como Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) u otra que incluya: las características geográficas "vulnerables" como son cuerpos de agua superficiales por ejemplo ríos, lagos, canales; entre otros, infraestructura e instalaciones relevantes para el caso de estudio, poblaciones o asentamientos mas cercanos, vías de ferrocarril, caminos de acceso y de servicios.

3B.1.7 Con la información de este numeral se elige el nivel de estudio de evaluación de riesgo ambiental de acuerdo con el tipo de área y el tipo de receptor de acuerdo a la matriz de decisión del anexo D.

3B.2 La determinación de los contaminantes o componentes críticos para los ecosistemas, recursos naturales o los seres humanos a proteger y con los cuales se efectuará la evaluación de riesgo.

La determinación de los contaminantes críticos se realiza para todos los niveles de estudio.

- 3B.2.1 Procedimiento de elección conforme al método del anexo 1 o 2.
- 3B.2.2 Fundamento de la elección.
- 3B.2.3 Listado de contaminantes o componentes críticos elegidos.

3B.3 La determinación de los factores específicos al sitio que influyen en la exposición y dispersión de los contaminantes.

- 3B.3.1 La determinación de los mecanismos de transporte y exposición de los contaminantes.
- 3B.3.2 La determinación de las propiedades físico-químicas que influyen en su transporte y exposición de los contaminantes
- 3B.3.3 La determinación de los factores específicos del sitio que influyen en el transporte y exposición de los contaminantes.
- 3B.3.4 La determinación de las características de polvos que contienen contaminantes que se generan en el sitio.
- 3B.3.5 La determinación de la fracción soluble o lixiviados de los contaminantes de suelos.
- 3B.3.6 Para la determinación de solubles o lixiviados se pueden aplicar las pruebas de laboratorio establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas. En caso de que el contaminante no este normado se aplicara, según el tipo de contaminante, un método recomendados por la Secretaría, que sea adecuado a las condiciones del pasivo ambiental. Las recomendaciones de aplicación y los métodos de prueba y evaluación de la fracción de lixiviados de suelos se hallan en el Anexo E.

3B.4 La determinación fundamentada de la movilidad de los contaminantes en el suelo y de las funciones de protección y retención del mismo. Esta evaluación se realizara siguiendo las recomendaciones del anexo F o un método equivalente.

Las propiedades físico-químicas de los contaminantes mas comunes se encuentran en el anexo G, el cual contiene además las ligas a las fuentes. Son de considerarse en especial las rutas de exposición “suelo – agua” y “suelo – polvos – suelos” para la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos naturales (suelo y agua) a dichos contaminantes y para la evaluación de la movilidad de los contaminantes. Para seres humanos deben de ser evaluadas todas las rutas de exposición antes de descartarlas.

3B.5 En caso de ser necesaria una determinación detallada de la movilidad de los contaminantes en el suelo se determinan el o los modelos matemáticos y el software a usarse para simular el transporte y dispersión de los contaminantes en el suelo a través de las distintas rutas de exposición. En el estudio se incluyen los resultados de los cálculos y simulaciones realizados para los escenarios de transporte y dispersión de los contaminantes generados por dicho software.

3B.6 La determinación de los puntos de exposición.

- 3B.6.1 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición actual.
- 3B.6.2 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición futura.

3B.7 La determinación de las rutas y vías de exposición presentes y futuras, completas e incompletas, identificar y describir los siguientes rubros.

3B.7.1 Identificación de las rutas y vías de exposición presentes (incompletas y completas).

3B.7.2 Identificación de las rutas y vías de exposición futuras (incompletas y completas).

3B.7.3 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición completas y su fundamento.

3B.7.4 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición no completas y su fundamento.

3B.7.5 Diagrama de rutas y vías de exposición por contaminante crítico.

3B.8 La categorización de las rutas y vías de exposición para las cuales se evaluará el riesgo.

3B.9 La determinación de los componentes del ecosistema que pudieran ser afectados por la contaminación, por ejemplo recursos naturales no biológicos en el sitio como son agua y suelo.

En caso de ser necesario si existen faltantes de información, el plan de caracterización del sitio (adicional) específico para el estudio de riesgo ambiental incluyendo el plan de muestreo y los resultados analíticos.

3B.10 La determinación de los distintos grupos poblacionales (humanos) receptores y del grupo poblacional más vulnerable.

3B.10.1 La identificación de todos los grupos poblacionales (humanos) residentes en el sitio.

3B.10.2 La identificación del grupo poblacional receptor (humano) más vulnerable (presente y futuro).

3B.10.2 Identificación de los factores de comportamiento de la población receptora (humana) que influyen en la exposición en el sitio.

3B.11 La determinación de los valores de las DdR para componentes críticos no cancerígenos y de los factores de las pendientes de cáncer para componentes críticos cancerígenos.

3B.11.1 La determinación se hace para los grupos poblacionales (humanos) receptores en el sitio.

3B.11.2 La identificación de la información toxicológica relevante (para seres humanos) de los contaminantes críticos elegidos incluye la descripción de los efectos cancerígenos y no cancerígenos (agudos, crónicos y subcrónicos).

3B.11.3 La determinación de las DdR para contaminantes con efectos no cancerígenos (crónicos y subcrónicos).

3B.11.4 La determinación del Factor de Pendiente de Cáncer (FPC) para contaminantes con efectos cancerígenos.

- 3B.11.5 En el caso de que los contaminantes críticos elegidos no cuenten (en los perfiles toxicológicos aceptados y reconocidos internacionalmente) con Dosis de Referencia (DdR) o Factor de Pendiente de Cáncer (FPC) reconocidas podrán ser determinados ex profeso para dichas sustancias los Valores de Evaluación de Medios Ambientales (VEMA) o las Dosis de Referencia Específicas (DdRE) con base en los datos toxicológicos disponibles de manera fundamentada.
- 3B.11.6 Para la determinaciones a que se refieren las fracciones 3B.11.3 a 3B.11.5 podrán utilizarse los perfiles toxicológicos aceptados internacionalmente. Ligas a los bancos de datos internacionales se encuentran en los anexos metodológicos 1 y 2. El método de cálculo para determinar de los VEMA, se halla en el anexo I.
- 3B.12 El cálculo de la exposición total para los grupos poblacionales presentes más vulnerables para las distintas rutas y vías de exposición.
- 3B.12.1 La determinación de las Dosis de Exposición (DE) individuales y totales se realiza por ruta y vía de exposición, para todos los contaminantes críticos elegidos, en función de los grupos receptores identificados, en especial para aquel considerado como más vulnerable. Los métodos de cálculo para determinar las DE se hallan en el anexo K, Los valores de los parámetros utilizados en el cálculo de las DE se encuentran en el anexo G.
- 3B.13 La determinación del riesgo ambiental total para todos los contaminantes críticos elegidos, todas las rutas y vías de exposición determinadas tanto para el riesgo no cancerígeno para efectos subcrónicos y/o crónicos y para el riesgo cancerígeno.
- 3B.13.1 La determinación del riesgo puede efectuarse a través de los Índices de Peligro Individuales (IP<sub>i</sub>) para efectos no cancerígenos crónicos y subcrónicos y de los Índices de Riesgo individuales (IR<sub>i</sub>) para efectos cancerígenos para cada contaminante crítico, por ruta y vía de exposición. La determinación se realiza para todas las rutas de exposición involucradas (suelos, polvos, aire, gases o vapores, agua, alimentos) en las que se halle presentes los contaminantes y para todas las vías de exposición (ingestión de suelos, ingestión de alimentos, ingestión de agua, inhalación de polvos, inhalación de gases o vapores, contacto dérmico de suelos y aguas) y de ser necesario por tipo de efecto.
- 3B.13.2 La determinación Índice de Peligro Total para efectos subcrónicos (IP<sub>SC-T</sub>) como suma de los Índices de Peligro Individuales para efectos crónicos (IP<sub>SC-i</sub>) para cada contaminante crítico.
- 3B.13.3 La determinación Índice de Peligro Total para efectos crónicos (IP<sub>C-T</sub>) como la suma de los Índices de Peligro Individuales para efectos crónicos (IP<sub>C-i</sub>) para cada contaminante crítico.
- 3B.13.4 La determinación de los Índices de Riesgo para efectos Cancerígenos Individuales (IR<sub>Ci</sub>) para cada contaminante crítico, por ruta y vía de exposición.
- 3B.13.5 La determinación de los Índices de Riesgo para efectos Cancerígenos Totales (IR<sub>CT</sub>) para cada contaminante crítico.
- 3B.13.6 La determinación del riesgo ambiental para efectos cancerígenos y no cancerígenos también se podrá realizar por algún otro método que sea adecuado, de manera fundamentada.

- 3B.13.7 El método de cálculo a seguir para determinar los  $IP_i$ ,  $IP_T$ ,  $IR_i$  e  $IR_T$  se hallan en los anexos 1 y 2 (numerales 4.1 y 4.2).
- 3B.14 Elaboración de la hipótesis de Exposición Total del medio ambiente y la(s) población(s) receptora(s) a los contaminantes críticos a través de un “Modelo Conceptual” en donde se muestre.
- 3B.14.1 Las rutas y vías de exposición.
- 3B.14.2 Los medios físicos afectados y las matrices en donde los contaminantes son móviles.
- 3B.14.3 Los riesgos provenientes de contaminantes para el medio ambiente.
- 3B.14.4 La representación gráfica de la información señalada en las fracciones anteriores.
- 3B.14.5 Descripción de las posibles consecuencias o efectos adversos al medio ambiente y las poblaciones expuestas a los riesgos evaluados que se desprenden de la presencia de los contaminantes.
- 3B.14.6 Una descripción de modelo conceptual se halla en el anexo J.
- 3B.15 La descripción de las suposiciones hechas a lo largo de los cálculos efectuados y de las limitaciones e incertidumbres de los datos en los cuales se basa la evaluación del riesgo, y la caracterización total del riesgo, entendiendo esta como la conclusión de la evaluación de toda la información anterior.
- 3B.15.1 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los cálculos efectuados.
- 3B.15.2 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los datos empleados en los cálculos efectuados en los cuales se basa la evaluación del riesgo ambiental.
- 3B.15.3 La evaluación de los posibles errores y riesgos que de los cálculos y datos se desprendan.
- 3B.15.4 La determinación de las incertidumbres asociadas a la caracterización del riesgo puede requerir la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticas, que muestren los márgenes, distribuciones o intervalos de incertidumbre.
- 3B.16 La determinación de los niveles de remediación específicos del sitio con base en:
- 3B.16.1 La caracterización del riesgo cancerígeno y no cancerígeno.
- 3B.16.2 Los Índices de Peligro menor o igual a uno ( $IP_T \leq 1$ )
- 3B.16.3 Los Índices de Riesgo ( $IR_T \leq 10^{-6}$ ) considerando las rutas y vías de exposición.
- 3B.16.4 Cuando se ha determinado un riesgo entre  $10^{-6}$  y  $10^{-4}$  se aplica un método probabilística para determinar con mayor detalle las condiciones específicas de riesgo del sitio.
- 3B.16.4 Los grupos poblacionales humanos en especial el mas vulnerable.
- 3B.16.5 El tipo de contaminante y el tamaño de la población expuesta.
- 3B.17 Conforme a los resultados de la guía podrán establecerse una o varias de las alternativas siguientes:

3B.12.1 La propuesta de remediación conforme a los Niveles de Remediación Específicos (NRE) del sitio, su fundamento con base en el estudio. En la determinación de los NRE se aplican los métodos y cálculos que se encuentran en el anexo K.

3B.12.2 El conjunto de medidas que permitan disminuir el riesgo y la exposición y su fundamento con base en el estudio.

3B.12.3 Las medidas de monitoreo y su fundamento con base al estudio.

Para cualquiera de las alternativas consideradas anteriormente realizar un análisis de su aplicación (consecuencias de su aplicación) y su interacción con el medio ambiente. El contenido del programa de remediación se halla en el anexo L.

3B.18 Cuando el receptor de la contaminación la población humana se debe seguir el método del anexo 2 y considerar lo siguiente:

**Los numerales 3B.2, 3B.6, 3B.7, 3B.8, 3B.10, 3B.11, 3B.12, 3B.13 y 3B.15 se enfocan a la población humana.**

## 4 Contenido de un Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental

### Nivel 1

Cuando se trata de:

- Áreas Naturales Protegidas o
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.)

Donde los posibles receptores de la contaminación puedan ser:

- Especies de uso o valor económico.
- Especies protegidas.
- Ecosistemas valiosos.

Y No existe la información toxicológica necesaria para realizar la evaluación de riesgo ambiental.

- 4.1 La definición del problema basada en la evaluación de la información contenida en los estudios de caracterización y las investigaciones históricas correspondientes.
  - 4.1.1 Los resultados del estudio de caracterización y de las investigaciones históricas (anexo A).
  - 4.1.2 Descripción del sitio incluyendo la descripción general de los recursos naturales en el sitio.
  - 4.1.3 Resultados de las visitas efectuadas al sitio (entre otros fotografías).
  - 4.1.4 Un diagrama de flujo de los pasos a seguir durante la Evaluación de Riesgo Ambiental en concordancia con el diagrama del anexo C y (atendiendo la estrategia del anexo B) con las acotaciones y cambios específicos del caso.
  - 4.1.5 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM del predio y sus colindancias inmediatas que contenga lo siguiente: límites del predio, vías de comunicación e infraestructuras colindantes, áreas contaminadas por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) o Concentraciones de Referencia (CR), áreas de almacenamiento o disposición de residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial, residuos y materiales peligrosos (en su caso), áreas con apilamientos o enterramientos (en su caso), áreas con concentraciones de contaminantes por debajo de los LMP o CR, instalaciones e edificaciones en el predio.
  - 4.1.6 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM a nivel regional de una institución oficial como Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) u otra que incluya: las características geográficas “vulnerables” como son cuerpos de agua superficiales por ejemplo ríos, lagos, canales; entre otros, infraestructura e instalaciones relevantes para el caso de estudio, poblaciones o asentamientos mas cercanos, vías de ferrocarril, caminos de acceso y de servicios.
  - 4.1.7 Con la información de este numeral se elige el nivel de estudio de evaluación de riesgo ambiental de acuerdo con el tipo de área y el tipo de receptor de acuerdo a la matriz de decisión del anexo D.

- 4.2 La determinación de los contaminantes o componentes críticos para los ecosistemas y los recursos naturales a proteger y con los cuales se efectuará la evaluación de riesgo.
  - 4.2.1 Procedimiento de elección conforme al método del anexo 1 o 2.
  - 4.2.2 Fundamento de la elección.
  - 4.2.3 Listado de contaminantes o componentes críticos elegidos.
  
- 4.3 La determinación de los factores específicos al sitio que influyen en la exposición y dispersión de los contaminantes.
  - 4.3.1 La determinación de los mecanismos de transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.2 Información geográfica relevante para el transporte y destino de los contaminantes.
  - 4.3.3 La determinación de las propiedades físico-químicas que influyen en su transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.4 La determinación de los factores específicos del sitio que influyen en el transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.5 La determinación de las características de polvos que contienen contaminantes que se generan en el sitio.
  - 4.3.6 La determinación de la fracción soluble o lixiviados de los contaminantes de suelos.
  - 4.3.7 Para la determinación de solubles o lixiviados se pueden aplicar las pruebas de laboratorio establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas. En caso de que el contaminante no este normado se aplicara, según el tipo de contaminante, un método recomendados por la Secretaría, que sea adecuado a las condiciones del pasivo ambiental. Las recomendaciones de aplicación y los métodos de prueba y evaluación de la fracción de lixiviados de suelos se hallan en el anexo E.
  
- 4.4 La determinación fundamentada de la movilidad de los contaminantes en el suelo y de las funciones de protección y retención del mismo. Esta evaluación se realizara siguiendo las recomendaciones del anexo F o un método equivalente.

Las propiedades físico-químicas de los contaminantes mas comunes se encuentran en el anexo G, el cual contiene además las ligas a las fuentes. Son de considerarse en especial las rutas de exposición “suelo – agua” y “suelo – polvos – suelos” para la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos naturales (suelo y agua) a dichos contaminantes y para la evaluación de la movilidad de los contaminantes. Para seres humanos deben de ser evaluadas todas las rutas de exposición antes de descartarlas.
  
- 4.5 La determinación de los puntos de exposición.
  - 4.5.1 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición actual.
  - 4.5.2 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición futura: durante la aplicación de acciones de remediación y después de la aplicación de acciones de remediación.

4.6 La determinación de las rutas y vías de exposición presentes y futuras, completas e incompletas.

- 4.6.1 La identificación de las rutas y vías de exposición presentes (incompletas y completas).
- 4.6.2 La identificación de las rutas y vías de exposición futuras (incompletas y completas).
- 4.6.3 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición completas y su fundamento.
- 4.6.4 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición no completas y su fundamento.
- 4.6.5 El diagrama de rutas y vías de exposición por contaminante crítico.

4.7 La determinación de los componentes del ecosistema, incluyendo organismos blanco de interés especial o de organismos productivos residentes en el sitio.

En caso de ser necesario si existen faltantes de información, el plan de caracterización del sitio (adicional) específico para el estudio de riesgo ambiental incluyendo el plan de muestreo y los resultados analíticos.

En la selección de las especies críticas (organismos blanco de interés) se siguen las reglas básicas señaladas en el anexo 1, numeral 2.4.

- 4.7.1 Organismos o especies con uso/valor económico, en su caso.
- 4.7.2 Organismos o especies críticas protegidas, en su caso.
- 4.7.3 Recursos naturales vulnerables, en todos los casos.
- 4.7.4 Identificación de las poblaciones de los organismos o especies señalados en las fracciones 4.8.1 y 4.8.2, que pudieran estar expuestos y en riesgo.
- 4.7.5 Esta determinación incluye la determinación de la(s) característica(s) o aspectos específicos de los organismos o recursos naturales a estudiar o medir siguiendo las reglas específicas del anexo 1.

4.8 La determinación de la toxicidad y la exposición de los contaminantes a los componentes del ecosistema, incluyendo los organismos blanco de interés especial (especies protegidas) o de organismos productivos residentes en el sitio (especies con valor económico) y, la evaluación de los efectos.

- 4.8.1 En el caso de que no exista información toxicológica para las especies o los contaminantes se podrá determinar los Valores de Referencia de Toxicidad (VRT) pertenecientes a otros contaminantes o especies similares (surrogados), como se describe en el anexo 1.
- 4.8.2 Con los VRT (de los surrogados) se aplican ecuaciones alométricas o algún otro método, que se presentan en la literatura internacional, para especies de fauna y flora del sitio para estimar las condiciones de exposición de los organismos evaluados
- 4.8.3 Determinación de la exposición individual y total de los organismos o especies elegidas a los contaminantes.
- 4.8.4 La justificación de cómo se seleccionaron los diferentes valores empleados.
- 4.8.5 La justificación de la selección de la especie de comparación.
- 4.8.6 Las fuentes de información bibliográfica empleadas.

- 4.8.7 Para la determinaciones a que se refieren las fracciones 4.9.1, 4.9.2 y 4.9.3 se podrá utilizar los perfiles toxicológicos aceptados internacionalmente. Ligas a los bancos de datos internacionales se encuentran en el anexo 1.
  - 4.8.8 Determinar los Cocientes de Peligrosidad (IP) de los contaminantes surrogados con respecto a las especies elegidas. Las ecuaciones para los distintos tipos de organismos se hallan en el anexo 1, numeral 3.2. Si se aplica un Nivel 1. Además de lo anterior el estudio se enfoca a determinar la afectación a los recursos naturales y su vulnerabilidad, esto con el fin de determinar las acciones de remediación necesarias para reducir la exposición a los contaminantes, la vulnerabilidad de los recursos naturales o para eliminar los contaminantes del sitio.
- 4.9 Caracterización del riesgo total, su interpretación y la determinación de las incertidumbres en la caracterización del riesgo.
- 4.10 Elaboración de la hipótesis de Exposición Total del medio ambiente y la(s) población(s) receptora(s) a los contaminantes críticos a través de un “Modelo Conceptual” en donde se muestre.
- 4.10.1 Las rutas y vías de exposición.
  - 4.10.2 Los medios físicos afectados y las matrices en donde los contaminantes son móviles.
  - 4.10.3 Los riesgos provenientes de contaminantes para el medio ambiente.
  - 4.10.4 La representación gráfica de la información señalada en las fracciones anteriores.
  - 4.10.5 Descripción de las posibles consecuencias o efectos adversos al medio ambiente y las poblaciones expuestas a los riesgos evaluados que se desprenden de la presencia de los contaminantes.
  - 4.10.6 Una descripción de modelo conceptual se halla en el Anexo J.
- 4.11 Conforme a los resultados de la aplicación de la guía podrán establecerse una o varias de las alternativas siguientes:
- 4.11.1 La propuesta de remediación conforme a los Niveles de Remediación Específicos del sitio, su fundamento con base en el estudio.
  - 4.11.2 El conjunto de medidas que permitan disminuir el riesgo y la exposición y su fundamento con base en el estudio.
  - 4.11.3 Las medidas de monitoreo y su fundamento con base en el estudio.
- Para cualquiera de las alternativas consideradas anteriormente realizar un análisis de su aplicación (consecuencias de su aplicación) y su interacción con el medio ambiente. El contenido del programa de remediación se halla en el anexo L.
- 4.12 La descripción de las suposiciones hechas a lo largo de los cálculos efectuados y de las limitaciones e incertidumbres de los datos en los cuales se basa la evaluación del riesgo, y la caracterización total del riesgo, entendiendo esta como la conclusión de la evaluación de toda la información anterior.

- 4.12.1 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los cálculos efectuados.
  - 4.12.2 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los datos empleados en los cálculos efectuados en los cuales se basa la evaluación del riesgo ambiental.
  
  - 4.12.3 La evaluación de los posibles errores y riesgos que de los cálculos y datos se desprendan.
  - 4.12.4 La determinación de las incertidumbres asociadas a la caracterización del riesgo puede requerir la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticos, que muestren los márgenes, distribuciones o intervalos de incertidumbre.
- 4.13 Cuando el receptor de la contaminación sea además la población humana se debe seguir el método del anexo 2 y considerar lo siguiente:

**Se aplicaran los numerales 3B.2, 3B.6, 3B.7, 3B.8, 3B.10, 3B.11, 3B.12, 3B.13 y 3B.15 del numeral 3, caso B, los cuales se enfocan a la población humana.**

## Nivel 2

Cuando se trata de:

- Áreas Naturales Protegidas o
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.)

Donde los posibles receptores de la contaminación puedan ser:

- Especies de uso o valor económico.
- Especies protegidas.
- Ecosistemas valiosos.

Y existe la información toxicológica necesaria para realizar la evaluación de riesgo ambiental.

- 4.1 La definición del problema basada en la evaluación de la información contenida en los estudios de caracterización y las investigaciones históricas correspondientes.
  - 4.2.1 Los resultados del estudio de caracterización y de las investigaciones históricas (anexo A).
  - 4.2.2 Descripción del sitio incluyendo la descripción general de los Recursos Naturales en el sitio.
  - 4.2.3 Resultados de las visitas efectuadas al sitio (entre otros fotografías).
  - 4.2.4 Un diagrama de flujo de los pasos a seguir durante la Evaluación de Riesgo Ambiental en concordancia con el diagrama del anexo C y (atendiendo la estrategia del anexo B) con las acotaciones y cambios específicos del caso.
  - 4.2.5 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM del predio y sus colindancias inmediatas que contenga lo siguiente: límites del predio, vías de comunicación e infraestructuras colindantes, áreas contaminadas por encima de los límites máximos permisibles (LMP) o concentraciones de referencia (CR), áreas de almacenamiento o disposición de residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial, residuos y materiales peligrosos (en su caso), áreas con apilamientos o enterramientos (en su caso), áreas con concentraciones de contaminantes por debajo de los LMP o CR, instalaciones e edificaciones en el predio.
  - 4.2.6 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM a nivel regional de una institución oficial como Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) u otra que incluya: las características geográficas “vulnerables” como son cuerpos de agua superficiales por ejemplo ríos, lagos, canales; entre otros, infraestructura e instalaciones relevantes para el caso de estudio, poblaciones o asentamientos mas cercanos, vías de ferrocarril, caminos de acceso y de servicios.
  - 4.2.7 Con la información de este numeral se elige el nivel de estudio de evaluación de riesgo ambiental de acuerdo con el tipo de área y el tipo de receptor de acuerdo a la matriz de decisión del anexo D.

- 4.2 La determinación de los contaminantes o componentes críticos para los ecosistemas y recursos a proteger y con los cuales se efectuará la evaluación de riesgo.
  - 4.2.1 Procedimiento de elección conforme al método del anexo 1 o 2.
  - 4.2.2 Fundamento de la elección.
  - 4.2.3 Listado de contaminantes o componentes críticos elegidos.
  
- 4.3 La determinación de los factores específicos al sitio que influyen en la exposición y dispersión de los contaminantes.
  - 4.3.1 La determinación de los mecanismos de transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.2 Información geográfica relevante para el transporte y destino de los contaminantes.
  - 4.3.3 La determinación de las propiedades físico-químicas que influyen en su transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.4 La determinación de los factores específicos del sitio que influyen en el transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.5 La determinación de las características de polvos que contienen contaminantes que se generan en el sitio.
  - 4.3.6 La determinación de la fracción soluble o lixiviados de los contaminantes de suelos.
  - 4.3.7 Para la determinación de solubles o lixiviados se pueden aplicar las pruebas de laboratorio establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas. En caso de que el contaminante no este normado se aplicara, según el tipo de contaminante, un método recomendados por la Secretaría, que sea adecuado a las condiciones del pasivo ambiental. Las recomendaciones de aplicación y los métodos de prueba y evaluación de la fracción de lixiviados de suelos se hallan en el anexo E.
  
- 4.4 La determinación fundamentada de la movilidad de los contaminantes en el suelo y de las funciones de protección y retención del mismo. Esta evaluación se realizara siguiendo las recomendaciones del anexo F o un método equivalente.

Las propiedades físico-químicas de los contaminantes mas comunes se encuentran en el anexo G, el cual contiene además las ligas a las fuentes. Son de considerarse en especial las rutas de exposición “suelo – agua” y “suelo – polvos – suelos” para la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos naturales (suelo y agua) a dichos contaminantes y para la evaluación de la movilidad de los contaminantes. Para seres humanos deben de ser evaluadas todas las rutas de exposición antes de descartarlas.
  
- 4.5 La determinación de los puntos de exposición.
  - 4.5.1 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición actual.
  - 4.5.2 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición futura: durante la aplicación de acciones de remediación y después de la aplicación de acciones de remediación.

4.6 La determinación de las rutas y vías de exposición presentes y futuras, completas e incompletas.

4.6.1 La identificación de las rutas y vías de exposición presentes (incompletas y completas).

4.6.2 La identificación de las rutas y vías de exposición futuras (incompletas y completas).

4.6.3 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición completas y su fundamento.

4.6.4 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición no completas y su fundamento.

4.6.5 El diagrama de rutas y vías de exposición por contaminante crítico.

4.7 La categorización de las rutas y vías de exposición para las cuales se evaluará el riesgo.

4.8 La determinación de los componentes del ecosistema, incluyendo organismos blanco de interés especial o de organismos productivos residentes en el sitio.

En caso de ser necesario si existen faltantes de información, el plan de caracterización del sitio (adicional) específico para el estudio de riesgo ambiental incluyendo el plan de muestreo y los resultados analíticos.

En la selección de las especies críticas (organismos blanco de interés) se siguen las reglas básicas señaladas en el anexo 1, numeral 2.4.

4.8.1 Organismos o especies con uso/valor económico, en su caso.

4.8.2 Organismos o especies críticas protegidas, en su caso.

4.8.3 Recursos naturales vulnerables, en todos los casos.

4.8.4 Identificación de las poblaciones de los organismos o especies señalados en las fracciones 4.8.1 y 4.8.2, que pudieran estar expuestos y en riesgo.

4.8.5 Esta determinación incluye la determinación de la(s) característica(s) o aspectos específicos de los organismos o recursos naturales a estudiar o medir siguiendo las reglas específicas del anexo 1.

4.9 La determinación de la toxicidad y la exposición de los contaminantes a los componentes del ecosistema, incluyendo los organismos blanco de interés especial (especies protegidas) o de organismos productivos residentes en el sitio (especies con valor económico) y, la evaluación de los efectos.

4.9.1 En el caso de que exista información toxicológica para las especies o los contaminantes se podrá determinar los Valores de Referencia de Toxicidad (VRT) pertenecientes a los contaminantes y las especies, tal como se describe en el anexo 1.

4.9.2 Con los VRT se aplican ecuaciones señaladas en el anexo 1, numeral 3.4, para especies de fauna y flora del sitio para estimar las condiciones de exposición de los organismos evaluados

4.9.3 Determinación de la exposición individual y total de los organismos o especies elegidas a los contaminantes.

4.9.4 La justificación de cómo se seleccionaron los diferentes valores empleados.

- 4.9.5 La justificación de la selección de la especie de comparación.
  - 4.9.6 Las fuentes de información bibliográfica empleadas.
  - 4.9.7 Para la determinaciones a que se refieren las fracciones 4.9.2 y 4.9.3 se podrá utilizar los perfiles toxicológicos aceptados internacionalmente. Ligas a los bancos de datos internacionales se encuentran en el anexo 1.
  - 4.9.8 Determinar los Cocientes de Peligrosidad (IP) de los contaminantes críticos con respecto a las especies elegidas.
- 4.10 Caracterización del riesgo total, su interpretación y la determinación de las incertidumbres en la caracterización del riesgo.
- 4.11 Elaboración de la hipótesis de Exposición Total del medio ambiente y la(s) población(s) receptora(s) a los contaminantes críticos a través de un “Modelo Conceptual” en donde se muestre.
- 4.11.1 Las rutas y vías de exposición.
  - 4.11.2 Los medios físicos afectados y las matrices en donde los contaminantes son móviles.
  - 4.11.3 Los riesgos provenientes de contaminantes para el medio ambiente.
  - 4.11.4 La representación gráfica de la información señalada en las fracciones anteriores.
  - 4.11.5 Descripción de las posibles consecuencias o efectos adversos al medio ambiente y las poblaciones expuestas a los riesgos evaluados que se desprenden de la presencia de los contaminantes.
  - 4.11.6 Una descripción de modelo conceptual se halla en el anexo J.
- 4.12 Conforme a los resultados de la aplicación de la guía podrán establecerse una o varias de las alternativas siguientes:
- 4.12.1 La propuesta de remediación conforme a los Niveles de Remediación Específicos del sitio, su fundamento con base en el estudio.
  - 4.12.2 El conjunto de medidas que permitan disminuir el riesgo y la exposición y su fundamento con base en el estudio.
  - 4.12.3 Las medidas de monitoreo y su fundamento con base en el estudio.
- Para cualquiera de las alternativas consideradas anteriormente realizar un análisis de su aplicación (consecuencias de su aplicación) y su interacción con el medio ambiente. El contenido del programa de remediación se halla en el anexo L.
- 4.13 La descripción de las suposiciones hechas a lo largo de los cálculos efectuados y de las limitaciones e incertidumbres de los datos en los cuales se basa la evaluación del riesgo, y la caracterización total del riesgo, entendiendo esta como la conclusión de la evaluación de toda la información anterior.
- 4.13.1 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los cálculos efectuados,
  - 4.13.2 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los datos empleados en los cálculos efectuados en los cuales se basa la evaluación del riesgo ambiental,

- 4.13.3 La evaluación de los posibles errores y riesgos que de los cálculos y datos se desprendan.
  - 4.13.4 La determinación de las incertidumbres asociadas a la caracterización del riesgo puede requerir la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticos, que muestren los márgenes, distribuciones o intervalos de incertidumbre.
- 4.14 Cuando el receptor de la contaminación sea además la población humana se debe seguir el método del anexo 2 y considerar lo siguiente:
- Se aplicaran los numerales 3B.2, 3B.6, 3B.7, 3B.8, 3B.10, 3B.11, 3B.12, 3B.13 y 3B.15 del numeral 3, caso B, los cuales se enfocan a la población humana.**

### Nivel 3

Cuando se trata de:

- Áreas Naturales Protegidas o
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.).

Donde los posibles receptores de la contaminación puedan ser:

- Especies de uso o valor económico.
- Especies protegidas.
- Ecosistemas valiosos.

Y existe la información toxicológica necesaria para realizar la evaluación de riesgo ambiental y se haya determinado que los Índices de Peligro para especies sean mayor que 1.

- 4.1 La definición del problema basada en la evaluación de la información contenida en los estudios de caracterización y las investigaciones históricas correspondientes.
  - 4.1.1 Los resultados del estudio de caracterización y de las investigaciones históricas (anexo A).
  - 4.1.2 Descripción del sitio incluyendo la descripción general de los Recursos Naturales en el sitio.
  - 4.1.3 Resultados de las visitas efectuadas al sitio (entre otros fotografías).
  - 4.1.4 Un diagrama de flujo de los pasos a seguir durante la Evaluación de Riesgo Ambiental en concordancia con el diagrama del anexo C y (atendiendo la estrategia del anexo B) con las acotaciones y cambios específicos del caso.
  - 4.1.5 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM del predio y sus colindancias inmediatas que contenga lo siguiente: límites del predio, vías de comunicación e infraestructuras colindantes, áreas contaminadas por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) o Concentraciones de Referencia (CR), áreas de almacenamiento o disposición de residuos sólidos municipales, residuos de manejo especial, residuos y materiales peligrosos (en su caso), áreas con apilamientos o enterramientos (en su caso), áreas con concentraciones de contaminantes por debajo de los LMP o CR, instalaciones e edificaciones en el predio.
  - 4.1.6 Plano geo-referenciado en coordenadas UTM a nivel regional de una institución oficial como Servicio Geológico Mexicano (SGM), Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI) u otra que incluya: las características geográficas “vulnerables” como son cuerpos de agua superficiales por ejemplo ríos, lagos, canales; entre otros, infraestructura e instalaciones relevantes para el caso de estudio, poblaciones o asentamientos mas cercanos, vías de ferrocarril, caminos de acceso y de servicios.
  - 4.1.7 Con la información de este numeral se elige el nivel de estudio de evaluación de riesgo ambiental de acuerdo con el tipo de área y el tipo de receptor de acuerdo a la matriz de decisión del anexo D.

- 4.2 La determinación de los contaminantes o componentes críticos para los ecosistemas y recursos a proteger y con los cuales se efectuará la evaluación de riesgo.
  - 4.2.1 Procedimiento de elección conforme al método del anexo 1 o 2.
  - 4.2.2 Fundamento de la elección.
  - 4.2.3 Listado de contaminantes o componentes críticos elegidos.
  
- 4.3 La determinación de los factores específicos al sitio que influyen en la exposición y dispersión de los contaminantes.
  - 4.3.1 La determinación de los mecanismos de transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.2 Información geográfica relevante para el transporte y destino de los contaminantes.
  - 4.3.3 La determinación de las propiedades físico-químicas que influyen en su transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.4 La determinación de los factores específicos del sitio que influyen en el transporte y exposición de los contaminantes.
  - 4.3.5 La determinación de las características de polvos que contienen contaminantes que se generan en el sitio.
  - 4.3.6 La determinación de la fracción soluble o lixiviados de los contaminantes de suelos.
  - 4.3.7 Para la determinación de solubles o lixiviados se pueden aplicar las pruebas de laboratorio establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas. En caso de que el contaminante no este normado se aplicara, según el tipo de contaminante, un método recomendados por la Secretaría, que sea adecuado a las condiciones del pasivo ambiental. Los métodos de prueba y evaluación de la fracción de lixiviados de suelos se hallan en el anexo E.
  
- 4.4 La determinación fundamentada de la movilidad de los contaminantes en el suelo y de las funciones de protección y retención del mismo. Esta evaluación se realizara siguiendo las recomendaciones del anexo F o un método equivalente.

Las propiedades físico-químicas de los contaminantes mas comunes se encuentran en el anexo G, el cual contiene además las ligas a las fuentes. Son de considerarse en especial las rutas de exposición “suelo – agua” y “suelo – polvos – suelos” para la evaluación de la vulnerabilidad de los recursos naturales (suelo y agua) a dichos contaminantes y para la evaluación de la movilidad de los contaminantes. Para seres humanos deben de ser evaluadas todas las rutas de exposición antes de descartarlas.
  
- 4.5 La determinación de los puntos de exposición.
  - 4.5.1 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición actual.
  - 4.5.2 La determinación de los puntos de exposición en el escenario de exposición futura: durante la aplicación de acciones de remediación y después de la aplicación de acciones de remediación.
  
- 4.6 La determinación de las rutas y vías de exposición presentes y futuras, completas e incompletas.

- 4.6.1 La identificación de las rutas y vías de exposición presentes (incompletas y completas).
- 4.6.2 La identificación de las rutas y vías de exposición futuras (incompletas y completas).
- 4.6.3 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición completas y su fundamento.
- 4.6.4 La descripción detallada de las rutas y vías de exposición no completas y su fundamento.
- 4.6.5 El diagrama de rutas y vías de exposición por contaminante crítico.

4.7 La categorización de las rutas y vías de exposición para las cuales se evaluará el riesgo.

4.8 La determinación de los componentes del ecosistema, incluyendo organismos blanco de interés especial o de organismos productivos residentes en el sitio.

En caso de ser necesario si existen faltantes de información, el plan de caracterización del sitio (adicional) específico para el estudio de riesgo ambiental incluyendo el plan de muestreo y los resultados analíticos.

En la selección de las especies críticas (organismos blanco de interés) se siguen las reglas básicas señaladas en el anexo 1, numeral 2.4.

- 4.8.1 Organismos o especies con uso/valor económico, en su caso.
- 4.8.2 Organismos o especies críticas protegidas, en su caso.
- 4.8.3 Recursos naturales vulnerables, en todos los casos.
- 4.8.4 Identificación de las poblaciones de los organismos o especies señalados en las fracciones 4.8.1 y 4.8.2, que pudieran estar expuestos y en riesgo.
- 4.8.5 Esta determinación incluye la determinación de la(s) característica(s) o aspectos específicos de los organismos o recursos naturales a estudiar o medir siguiendo las reglas específicas del anexo 1.

4.9 La determinación de la toxicidad y la exposición de los contaminantes a los componentes del ecosistema, incluyendo los organismos blanco de interés especial (especies protegidas) o de organismos productivos residentes en el sitio (especies con valor económico) y, la evaluación de los efectos.

- 4.9.1 En el caso de que exista información toxicológica para las especies se podrá determinar los Valores de Referencia de Toxicidad (VRT) pertenecientes a los contaminantes y las especies, como se describe en el anexo 1.
- 4.9.2 Con los VRT se aplican ecuaciones señaladas en el anexo 1, para especies de fauna y flora del sitio para estimar las condiciones de exposición de los organismos evaluados
- 4.9.3 Determinación de la exposición individual y total de los organismos o especies elegidas a los contaminantes.
- 4.9.4 La justificación de cómo se seleccionaron los diferentes valores empleados.
- 4.9.5 La justificación de la selección de la especie de comparación.
- 4.9.6 Las fuentes de información bibliográfica empleadas.

- 4.9.7 Para la determinaciones a que se refieren las fracciones 4.9.1, 4.9.2 y 4.9.3 se podrá utilizar los perfiles toxicológicos aceptados internacionalmente. Ligas a los bancos de datos internacionales se encuentran en el anexo 1.
- 4.9.8 Determinar los Cocientes de Peligrosidad (IP) de los contaminantes críticos con respecto a las especies elegidas. Ver anexo 1, numeral 3.4.
- 4.10 Caracterización del riesgo total, su interpretación y la determinación de las incertidumbres en la caracterización del riesgo.
- 4.11 Elaboración de la hipótesis de Exposición Total del medio ambiente y la(s) población(s) receptora(s) a los contaminantes críticos a través de un “Modelo Conceptual” en donde se muestre.
  - 4.11.1 Las rutas y vías de exposición.
  - 4.11.2 Los medios físicos afectados y las matrices en donde los contaminantes son móviles.
  - 4.11.3 Los riesgos provenientes de contaminantes para el medio ambiente.
  - 4.11.4 La representación gráfica de la información señalada en las fracciones anteriores.
  - 4.11.5 Descripción de las posibles consecuencias o efectos adversos al medio ambiente y las poblaciones expuestas a los riesgos evaluados que se desprenden de la presencia de los contaminantes.
  - 4.11.6 Una descripción de modelo conceptual se halla en el anexo J.
- 4.12 La descripción de las suposiciones hechas a lo largo de los cálculos efectuados y de las limitaciones e incertidumbres de los datos en los cuales se basa la evaluación del riesgo, y la caracterización total del riesgo, entendiendo esta como la conclusión de la evaluación de toda la información anterior.
  - 4.12.1 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los cálculos efectuados,
  - 4.12.2 Determinación de las suposiciones e incertidumbres de los datos empleados en los cálculos efectuados en los cuales se basa la evaluación del riesgo ambiental,
  - 4.12.3 La evaluación de los posibles errores y riesgos que de los cálculos y datos se desprendan.
  - 4.12.4 La determinación de las incertidumbres asociadas a la caracterización del riesgo puede requerir la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticas, que muestren los márgenes, distribuciones o intervalos de incertidumbre.

En la evaluación del riesgo ambiental en el caso de que en el sitio contaminado existan especies vegetales o animales sujetas a algún estatus especial de protección (NOM-059) y sea de interés conocer el estado de ecosistemas en áreas naturales protegidas o áreas de alto valor ecológico y se haya determinado que los Índices de Peligro son mayor que 1, la evaluación del riesgo ambiental comprende además lo siguiente:

- 4.13 La identificación de los biomarcadores de exposición y de efecto para el tipo de biota elegida que se monitoreará. Ver el anexo M.
- 4.14 La elección y fundamento de la aplicación de Índices Bióticos para el monitoreo de especies y ecosistemas como son: índice de riqueza de especies, índice de diversidad, índice de equitatividad, índice de similitud, índices de integridad biótica, cocientes de riesgo ecológico u otros aplicables. Ver el anexo N.
- 4.15 La selección de los sitios de referencia para la comparación con el sitio contaminado y de los factores de respuesta de las comunidades a medir en ambos sitios.
- 4.16 La determinación de especies silvestres para los cuales se efectuarán bioensayos.
- 4.17 Los resultados de la aplicación de bioensayos (modelos toxicológicos experimentales), cuando esto sea necesario y se haya aplicado.
- 4.18 La caracterización del riesgo ambiental-ecológico total para las especies protegidas y el ecosistema.
- 4.19 Descripción de las posibles consecuencias o efectos adversos al medio ambiente y las especies y sus poblaciones expuestas a los riesgos evaluados que se desprenden de la presencia de los contaminantes y los resultados de los bioensayos.
- 4.20 Conforme a los resultados de la guía podrán establecerse una o varias de las alternativas siguientes:
  - 4.20.1 La propuesta de remediación conforme a los Niveles de Remediación Específicos (NRE) del sitio, su fundamento con base en el estudio. En la determinación de los NRE se aplican los métodos y cálculos que se encuentran en el anexo K.
  - 4.20.2 El conjunto de medidas que permitan disminuir el riesgo y la exposición y su fundamento con base en el estudio.
  - 4.20.3 Las medidas de monitoreo y su fundamento con base en el estudio.

Para cualquiera de las alternativas consideradas anteriormente realizar un análisis de su aplicación (consecuencias de su aplicación) y su interacción con el medio ambiente. El contenido del programa de remediación se halla en el anexo L.



## 5 Programa de Remediación del Suelo Contaminado

Los programas de remediación, según corresponda, se integran con:

- Estudios de caracterización;
- Estudios de evaluación del riesgo ambiental, según corresponda;
- Investigaciones históricas, según sea el caso; y
- Las propuestas de remediación.

Los programas de remediación se elaborarán con base en el estudio de caracterización y, en su caso, en el de evaluación de riesgo ambiental. En la elaboración de los programas de remediación para pasivos ambientales también se considerarán las investigaciones históricas.

Todos estas investigaciones tendrán como finalidad establecer las actividades realizadas en el sitio contaminado causantes de los daños ambientales; los sucesos que condujeron a la contaminación del suelo, el subsuelo y los mantos acuíferos; las condiciones geo-hidrológicas que prevalecieron en el sitio con base a informaciones documentales, si existen; así como las relaciones de posesión y uso pasado y presente del predio o predios en los cuales se localice el sitio contaminado.

Las propuestas de remediación para emergencias y pasivos ambientales se integrarán al programa de remediación y contendrán:

5.1. Las técnicas o procesos de remediación a aplicar, especificando en su caso los métodos de muestreo a aplicar.

- 5.1.1 Nombre de la técnica o proceso de remediación.
- 5.1.2 Orden de aplicación de las técnicas o procesos de remediación a aplicar.
- 5.1.3 Áreas del sitio contaminado donde se aplicara cada técnica o proceso.
- 5.1.4 Método de muestreo para cada técnica o proceso de remediación a emplear.
- 5.1.5 Fundamentación de la remediación propuesta con respecto al tipo de contaminante y a las condiciones del sitio que se propone aplicar con base en los resultados de la caracterización y el estudio de riesgo ambiental del sitio, en su caso.

5.2. Los datos de los responsables técnicos de la remediación.

- 5.2.1 Nombre, domicilio, teléfono y correo electrónico.
- 5.2.2 Numero de autorización (en caso de ser prestador de servicios).
- 5.2.3 Documentación que acredite la formación profesional y experiencia en la remediación de sitios contaminados por materiales peligrosos o residuos peligrosos, en su caso.

5.3. La descripción del equipo a emplear, los parámetros de control del mismo, listado y hojas de seguridad de insumos y constancia de laboratorio, fabricante o formulador sobre la no patogenicidad de microorganismos cuando estos se empleen.

- 5.3.1 Nombre y descripción del equipo a emplear.
- 5.3.2 Parámetros de control del mismo.
- 5.3.3 Listado y hojas de seguridad de insumos y microorganismos.
- 5.3.4 Cantidades de insumos a aplicar en las acciones de remediación.

- 5.4. Las concentraciones, niveles o límites máximos que se establezcan en las normas oficiales mexicanas o los niveles de remediación específicos a alcanzar en el sitio contaminado conforme al estudio de evaluación del riesgo correspondiente.
  - 5.4.1 Las áreas y los volúmenes de suelos a remediar.
  - 5.4.2 Los Niveles de Remediación propuestos.
  - 5.4.3 El señalamiento de si se realizó un Estudio de Riesgo Ambiental y si se determinaron los Niveles de Remediación Específicos del sitio con base en los resultados del mismo.
  - 5.4.4 Si se realizó un Estudio de Riesgo Ambiental las acciones de reducción de la exposición y de monitoreo con base en los resultados del mismo, en su caso.
  
- 5.5. La descripción de las acciones de remediación con base en los niveles propuestos conforme a la fracción anterior.
  - 5.5.1 La descripción de cada paso a realizar u operación unitarias que conforman el tren de la remediación,
  - 5.5.2 Los objetivos específicos a alcanzar en cada paso u operación de remediación,
  - 5.5.3 Los diagramas de flujo de las operaciones a realizar durante la remediación que muestren tanto los flujos de masa de suelos, de los contaminantes y de los insumos,
  - 5.5.4 Los puntos críticos donde se pueden generar emisiones a la atmósfera, descargas de agua contaminada, subproductos y residuos peligrosos y los volúmenes aproximados de generación.
  - 5.5.5 Los resultados de las pruebas de adecuación de campo de las técnicas de remediación especiales, en su caso.
  - 5.5.6 Planos del lugar geo-referenciados con coordenadas UTM a escala local y regional, en caso de requerirse por la extensión de la contaminación del sitio, tal como se describen en el numeral 3. Los planos del sitio que muestren:
    - (a) las áreas contaminadas por encima de los Límites Máximos Permisibles o Concentraciones de Referencia de los contaminantes establecidas en las Normas Oficiales Mexicanas o de aquellas determinados mediante una evaluación de riesgo ambiental o en su caso las determinadas por la SEMARNAT.
    - (b) las áreas donde se localicen de depósitos y confinamientos de materiales y residuos peligrosos, en su caso.
    - (c) las líneas de iso-concentración mostrando la migración del contaminante en suelo y subsuelo, en su caso.
    - (d) las instalaciones de manejo de materiales o residuos, los depósitos de residuos que se encuentren en el sitio, en su caso, (e) edificaciones e instalaciones subterráneas.
  - 5.5.7 La indicación del destino final del suelo ya tratado dentro del predio y fuera del sitio.
  - 5.5.8 La descripción de obras civiles involucradas en la remediación en especial de aquellas que requieran mantenimiento para garantizar un nivel de riesgo aceptable.

- 5.5.9 Las especificaciones técnicas y de materiales para la aplicación de medidas constructivas de reducción de la exposición en especial las especificaciones constructivas de obra civil, las especificaciones de la calidad de los materiales utilizados en dichas obras y las especificaciones del plan de mantenimiento de dichas obras de ser necesario.
  
- 5.6. El plan de monitoreo en el sitio.
  - 5.6.1 Programas de muestreo y monitoreo
  - 5.6.2 Encargado del muestreo.
  - 5.6.3 Encargado del monitoreo.
  - 5.6.4 Programa de muestreo final comprobatorio.
  - 5.6.5 Documento comprobatorio de la cadena de custodia de las muestras.
  - 5.6.6 Bitácora de registro de monitoreo.
  
- 5.7. El programa calendarizado de actividades a realizar.
  - 5.7.1 El cronograma calendarizado de los trabajos a realizar, incluyendo el programa de transporte, de reubicación o de movimiento de suelos (en su caso).
  
- 5.8. El uso futuro del sitio remediado.
  
- 5.9. El plan de desalojo de residuos sólidos urbanos, residuos de la construcción, residuos de manejo especial y residuos peligrosos presentes en el sitio en el caso de pasivos ambientales, y
  - 5.9.1 El cronograma calendarizado de desalojo de los residuos (RSU, RME, RP) incluyendo aquellos residuos que las operaciones o acciones de remediación pudieran generar (en su caso) y su manejo.
  
- 5.10. El plan de seguimiento de los receptores determinados en el estudio de evaluación de riesgo ambiental, en caso de pasivos ambientales.



En la aplicación de esta guía se consideran las siguientes definiciones.  
Las definiciones del proyecto de reglamento de la LGPGIR  
serán válidas a partir de su entrada en vigor.

## 6 Glosario

**Absorción:** Proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas de las células de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias y luego es transportado hacia otros órganos.

**Acuífero:** Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo (LAN).

**Agente:** Cualquier entidad biológica, química o física que puede producir un efecto adverso  
Término relacionado: agente estresante (US-EPA, 1998).

**Almacenamiento de residuos peligrosos:** Acción de retener temporalmente los residuos peligrosos en áreas que cumplen con las condiciones establecidas en las disposiciones aplicables para evitar su liberación, en tanto se procesan para su aprovechamiento, se les aplica un tratamiento, se transportan o se dispone finalmente de ellos (Proy. Regl. LGPGIR).

**Alterador endócrino:** Agente químico exógeno o mezclas que alteran la(s) función(es) del sistema endócrino, tanto en la producción, liberación, transporte, metabolismo, enlace, acción, o eliminación de hormonas naturales, y por consecuencia causa efectos adversos en el organismo, su descendencia o (sub) poblaciones.

**Ambiente:** El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados (LGEEPA).

**Ambiente terrestre:** Ambientes localizados en tierra. Por ejemplo: bosques, selvas, desiertos.

**Ambiente acuático:** Ambientes localizados en cuerpos de agua. Por ejemplo: ríos, arroyos, lagos, lagunas, esteros, canales.

**Análisis determinístico:** Análisis donde se asume que todos los parámetros poblacionales y ambientales son constantes y son especificados como tales (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Áreas naturales protegidas:** Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en la presente Ley (LGEEPA).

**Tipos de ANP:** I.- Reservas de la biosfera, II.- Se deroga (*Fracción derogada DOF 13-12-1996*), III.- Parques nacionales, IV.- Monumentos naturales, V.- Se deroga (*Fracción derogada DOF 13-12-1996*), VI.- Áreas de protección de recursos naturales, VII.- Áreas de protección de flora y fauna, VIII.- Santuarios, IX.- Parques y Reservas Estatales, y X.- Zonas de preservación ecológica de los centros de población. (LGEEPA Art. 46).

**Bentónico:** Organismos que viven en el fondo de un ambiente acuático (lago, laguna o mar), que se desplazan desde la superficie hasta la zona más profunda. (Smith y Smith, 2001).

**Bioensayo de toxicidad:** Prueba para establecer la magnitud y la naturaleza del efecto que producirá un agente químico sobre organismos expuestos a él bajo condiciones específicas.

*Nota aclaratoria:* En el área de la ecotoxicología, los agentes incluyen muestras ambientales de agua, suelo o sedimentos, efluentes domésticos e industriales, extractos de sedimentos o suelos contaminados, etc.

*Nota aclaratoria:* Un bioensayo de toxicidad evalúa la porción de organismos afectados (resultado cuantitativo) o el grado de efecto (resultado cualitativo) después de la exposición a niveles específicos de un estímulo (concentración o dosis de un químico o mezcla de químicos). Término relacionado: Prueba de toxicidad (Van Leeuwen and Hermens, 1995).

**Bioensayo agudo:** Pruebas cortas, en relación con el tiempo generacional de los organismos, y generalmente a altas concentraciones de exposición (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Bioensayo crónico:** Pruebas con tiempos mayores de exposición a un agente estresante y concentraciones generalmente bajas. El tiempo de exposición corresponde al menos de una décima parte del tiempo de vida de los organismos en estudio y las respuestas corresponden por ejemplo a cambios en el metabolismo, crecimiento, reproducción, habilidad para sobrevivir (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Bioensayo subcrónico:** Pruebas de corta exposición que son indicativas de efectos a tiempos de exposición mayores, generalmente dirigidas a organismos con estadios de vida críticos o sensibles. El tiempo de exposición generalmente no excede el 10 % del tiempo de vida de los organismos (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Barreras fisiológica o anatómica:** Elementos que impiden o limitan la interacción entre elementos internos y externos de un organismos. Ejemplos: bombas de intercambio iónico (barreras fisiológicas), tejido epitelial, mucosidades, escamas (barreras anatómicas).

**Bioacumulación:** Concentración resultante acumulada en el medio ambiente o en los tejidos de organismos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición por ejemplo por aire, agua, suelo, sedimento y alimento.

*Nota aclaratoria:* La acumulación se da debido a su persistencia, la baja o nula alteración por el metabolismo del organismo y/o diversas características fisicoquímicas del contaminante.

**Bioaccesibilidad:** Fracción soluble de un elemento químico contenido en el suelo determinado a partir de un estudio *in vitro* (NOM 147).

**Biodisponibilidad:** Característica de las sustancias tóxicas que indica la facilidad de incorporarse a los seres vivos mediante procesos o mecanismos, inhalación, ingesta o absorción, y que están influenciados por diferentes parámetros como, las rutas de exposición, las características fisiológicas del receptor y las características químicas del xenobiótico (Decapio, 1997).

*Nota aclaratoria:* se puede interpretar como la fracción soluble de un elemento potencialmente tóxico que puede atravesar barreras biológicas de intercambio del organismo receptor.

**Biodiversidad:** La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (LGEEPA).

**Biodisponibilidad porcentual:** Fracción o porcentaje de un compuesto que es ingerido, inhalado o aplicado a la superficie cutánea que alcanza la circulación sistémica. Es la relación entre la dosis absorbida y la dosis administrada. La dosis absorbida se determina al medir la concentración del compuesto en excretas.

**Biodisponibilidad relativa:** Es una medida de la extensión de la absorción entre dos o más formas del mismo químico, diferentes vehículos o diferentes dosis. Es la relación entre la fracción absorbida del medio expuesto en la evaluación de riesgo y la fracción absorbida de la dosis media usada en el estudio de toxicidad.

**Biomarcador:** Es un indicador bioquímico, fisiológico o ecológico del estrés físico, químico o biológico en los organismos y sus poblaciones. Es un trazador de las reacciones que pueden ocurrir a diferentes niveles –molecular, celular, en el organismo completo, las poblaciones o comunidades. Su detección permite evaluar de forma temprana los efectos negativos de los contaminantes.

*Nota aclaratoria:* Se utilizan para: (1) detectar la presencia de una exposición; (2) determinar las consecuencias biológicas de la exposición; (3) detectar los estados iniciales e intermedios de un proceso patológico; (4) identificar a los individuos sensibles de una población; y (5) fundamentar la decisión de intervenir, tanto a nivel individual como ambiental.

**Biomarcadores de exposición:** Respuestas biológicas que integran las propiedades fisicoquímicas del compuesto tóxico y su toxicocinética en el organismo; es decir, reflejan que el organismo está o ha estado expuesto a contaminantes particulares dando cuenta de su biodisponibilidad.

**Biomarcadores de efecto:** Respuestas moleculares, bioquímicas, celulares o fisiológicas de un organismo y que son indicativas del efecto tóxico de los contaminantes. Algunos de estos biomarcadores señalan solamente el estado de un proceso que puede ser o no reversible, dependiendo de la duración e intensidad de la exposición.

**Biota:** Todos los organismos vivos, sean plantas, animales o microorganismos.

**Cadena de custodia:** documento donde los responsables registran la obtención de muestras, su transporte y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas o de análisis (Regl. LGPGIR).

**Cálculo de riesgo:** Cuantificación de la probabilidad de que ocurran efectos adversos específicos en un organismo, sistema o población por la exposición actual o futura a un contaminante (Van Leeuwen and Hermens, 1995).

*Nota aclaratoria:* Esto incluye la magnitud, escala espacial, duración e intensidad de las consecuencias adversas y sus probabilidades asociadas como una descripción de la relación entre causa-efecto.

**Caracterización de riesgo:** Es la integración de la evidencia, razonamientos y conclusiones recolectados durante la identificación de peligro, evaluación de dosis-respuesta y la evaluación de exposición; el cálculo de la probabilidad, incluyendo las incertidumbres de ocurrencia y

efectos adversos cuando se administra, toma o absorbe un agente en un organismo o población. Es el último paso de la evaluación de riesgo. (EEA, 2005).

**Caracterización de sitios contaminados:** Es la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes, provenientes de materiales o residuos peligrosos, para estimar la magnitud y tipo de riesgos que conlleva dicha contaminación (LGPGIR).

**Carcinógeno(a):** Cualquier sustancia que pueda causar cáncer.

**Componente ecológico:** Cualquier parte del sistema ecológico incluyendo individuos, poblaciones, comunidades, sus interacciones, relaciones y al mismo ecosistema.

**Compuestos esenciales:** Término que se emplea para aquellos compuestos, como los metales pesados, que cumplen con funciones esenciales para los organismos pero que a altos niveles de concentración pueden ser tóxicos. Ejemplo de metales con función biológica conocida son: cromo, cobre, fierro, molibdeno, selenio y zinc. Término relacionado: Compuestos con función biológica conocida.

**Comunidad:** Grupo de poblaciones de diferentes especies que interaccionan entre sí y que habitan en una misma área (Smith and Smith, 2001).

**Concentración:** La relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia.

**Concentración de fondo total:** Masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en términos del Sistema General de Unidades de Medida, que se encuentra en un suelo de manera natural (NOM 147).

**Concentración total:** Masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, expresada en términos del Sistema General de Unidades de Medida, extraído del suelo por digestión ácida o alcalina (NOM 147).

**Confinamiento controlado:** obra de ingeniería para la disposición final de residuos peligrosos (Regl. LGPGIR).

**Confinamiento en formaciones geológicamente estables:** obra de ingeniería para la disposición final en estructuras naturales o artificiales, impermeables, incluyendo a los domos salinos que garanticen el aislamiento ambientalmente seguro de los residuos peligrosos (Regl. LGPGIR).

**Contaminación:** La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico (LGEEPA).

**Contaminante:** Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural (LGEEPA).

**Contaminante crítico:** Contaminante elegido por su toxicidad y peligrosidad para realizar la caracterización del riesgo.

**Definición y formulación del problema:** Proceso para generar y evaluar la hipótesis preliminar acerca del porque de los efectos a la(s) población(s), los recursos naturales y/o ecosistemas ocurridos o que pudieran ocurrir a causa de la contaminación del sitio. Provee el fundamento para el estudio de evaluación de riesgo ambiental y donde se elabora el escenario inicial de trabajo, el plan de caracterización, muestreo y que incluyen los objetivos y alcances del estudio.

**Degradación:** Proceso de descomposición de la materia, por medios físicos, químicos o biológicos.

**Disposición final:** Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos (LGPGIR).

**Dérmico(a):** Relativo a la piel. La absorción dérmica significa absorción de algún elemento a través de la piel.

**Dosis:** Cantidad de una sustancia disponible que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo. (IRIS, 2002).

**Dosis suministrada:** Cantidad o concentración del agente químico o físico que está presente en la superficie de contacto durante un período especificado y que se expresa por unidad de masa corporal del individuo expuesto.

**Dosis de exposición (DE):** Cantidad de sustancia a la que se expone el organismo y el tiempo durante el que estuvo expuesto. La dosis de exposición determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica.

**Dosis de referencia (DdR):** Es el índice de toxicidad que más se utiliza en la evaluación de riesgos por exposición a sustancias no-cancerígenas. Es el nivel de exposición diaria que no produce un riesgo apreciable de daño en poblaciones humanas, incluyendo las subpoblaciones sensibles.

**Ecosistema:** La unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados (LGEEPA).

**Ecosistema valiosos:** reservas de la biosfera, parques naturales, áreas de protección de recursos naturales, áreas de protección de flora y/o fauna, monumentos naturales, santuarios, ambientes acuáticos con zonas de relevancia ecológica no protegidas como las zonas lagunares-estuarinas y donde se han identificado ecosistemas y/o especies de alto valor ambiental o protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2001. Son de tomarse en consideración los criterios del artículo 37 del reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de áreas naturales protegidas.

**Efectos:** Consecuencia por virtud de una causa.

**Efecto adverso o daño:** Cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo, o reproducción de un organismo, población, comunidad o ecosistema que resulta en el deterioro de la capacidad funcional y deterioro en la capacidad de compensar los efectos de factores de estrés adicionales. Es una función de la dosis de exposición y, de las condiciones de exposición

(vía de ingreso, duración y frecuencia de las exposiciones, tasa de contacto con el medio contaminado, entre otros).

**Efecto tóxico o respuesta tóxica:** Cualquier desviación del funcionamiento normal del organismo que ha sido producida por la exposición a sustancias tóxicas. Sólo se consideran como desviaciones significativas los cambios irreversibles o los cambios que permanecen por un período prolongado después de que la exposición ha cesado. El tipo de efecto tóxico que produce una sustancia sirve para hacer una clasificación general de los tóxicos en: (1) cancerígenos; (2) no-cancerígenos; y (3) tóxicos para el desarrollo.

**Elemento natural:** Los elementos físicos, químicos y biológicos, que se presentan en un tiempo y espacio determinado sin la inducción del hombre.

**Endócrino:** Perteneciente a hormonas o glándulas que secretan hormonas directamente en el torrente sanguíneo.

**Escenario de exposición:** Conjunto de suposiciones que describen cómo ocurren las exposiciones, incluyendo las características del agente estresante.

**Estocástico:** Relativo al incremento de la oportunidad de ocurrencia de un evento, y por lo tanto involucra la probabilidad y al cumplimiento de las leyes de la probabilidad. El término estocástico indica que la ocurrencia de los efectos deberían ser azarosos (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Escenario inicial de trabajo:** Descripción del sitio, la contaminación, los medios físicos afectados y los mecanismos de transporte involucrados, los puntos de exposición, las poblaciones afectadas y los recursos naturales y/o ecosistemas afectados con base en los resultados del estudio de caracterización del sitio e informaciones históricas.

**Especie crítica:** Especie con interés ecológico o económico, o que es clasificada con algún estatus de protección por la legislación mexicana y por lo tanto se requiere conocer su vulnerabilidad a los efectos de un contaminante y es elegida para realizar el estudio de riesgo ambiental. Término relacionado: especie de interés especial o organismo blanco.

**Especie receptora:** Especie crítica que recibe o está en contacto con los contaminantes.

**Especies y poblaciones en riesgo:** Aquellas identificadas por la Secretaría como probablemente extintas en el medio silvestre, en peligro de extinción, amenazadas o sujetas a protección especial, con arreglo a esta Ley (LGVS).

**Evaluación de efectos:** Análisis e inferencia de las posibles consecuencias en un organismo blanco específico, población o ecosistema, por la exposición a un factor en particular y basado en el conocimiento de la relación causa-efecto.

**Evaluación de exposición:** Medición o estimación de la dosis o concentración de exposición incluyendo la calificación de las incertidumbres.

**Evaluación de la toxicidad:** Selección de los valores adecuados de los parámetros que miden la peligrosidad de las sustancias tóxicas presentes en el sitio, acompañados por la calificación de la calidad de esa información. El parámetro que se usa en evaluación de riesgos es el índice de toxicidad.

**Evaluación del Riesgo Ambiental:** Proceso metodológico para determinar la probabilidad o posibilidad de que se produzcan efectos adversos, como consecuencia de la exposición de los seres vivos a las sustancias contenidas en los residuos peligrosos o agentes infecciosos que los forman (LGPGIR).

**Exposición:** co-ocurrencia del contacto entre el agente estresante y el componente ecológico.

**Factor de incertidumbre:** Factor aplicado a una concentración de exposición o a una concentración o dosis de efecto para corregirlo por una fuente de incertidumbre identificada (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Fuente de contaminación:** Punto o área de contaminación y dispersión de materiales peligrosos y residuos peligrosos al ambiente, fuente que emite contaminantes al medio ambiente en un sitio contaminado.

**Fuente no específica:** Actividades que generan una contaminación difusa (no puntual) de materiales peligrosos o residuos peligrosos al medio ambiente y que pueden aplicarse a diferentes actividades o procesos.

**Gestión Integral de Residuos:** Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región (LGPGIR).

**Hábitat:** El sitio específico en un medio ambiente físico, ocupado por un organismo, por una población, por una especie o por comunidades de especies en un tiempo determinado. (LGVS)

**Nota aclaratoria:** Espacio que reúne las condiciones adecuadas para que habite una población o especie (animal, planta, bacteria).

**Incertidumbre:** Conocimiento imperfecto relacionado con el estado presente y futuro de un sistema en consideración. Componente del riesgo que resulta de un conocimiento imperfecto del grado de peligrosidad o de su patrón de expresión especial o temporal (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Índice de peligro:** Es la relación entre la concentración de exposición y un valor de referencia (CEPIS, 1998). Ver Anexo 1 y 2 Numerales 4.1 y 4.2

**Infiltración:** Penetración de un líquido a través de los poros o intersticios de un suelo, cualquier material poroso natural o sintético.

**Ingestión:** Tragar (como cuando se come o se bebe). Las sustancias químicas pueden ser ingeridas en el alimento, la bebida, utensilios, manos, suelo). Luego de la ingestión, las sustancias químicas pueden ser absorbidas en la sangre y distribuidas en todas partes del cuerpo.

**Inhalación:** Respiración. La exposición puede ocurrir por inhalación de los contaminantes, porque éstos se pueden depositar en los pulmones, transportarse en la sangre o ambos.

**Límite máximo de exposición:** Cuando la exposición aunque puede representar un riesgo para la población, es todavía socialmente aceptable.

**Instalaciones:** aquellas en donde se desarrolla el proceso generador de residuos peligrosos o donde se realizan las actividades de manejo de este tipo de residuos. Esta definición incluye a los predios que pertenecen al generador de residuos peligrosos o aquellos sobre los cuales tiene una posesión derivada y que tengan relación directa con su actividad (Regl. LGPGIR).

**Liberación de residuos peligrosos:** acción de descargar, inyectar, inocular, depositar, derramar, emitir, vaciar, arrojar, colocar, rociar, abandonar, escurrir, gotear, escapar, enterrar, tirar o verter residuos peligrosos en los elementos naturales (Regl. LGPGIR).

**Límite de tolerancia:** Concentración de exposición o dosis de exposición de un contaminante debajo del cual se espera que no se exista efecto (Van Leeuwen y Hermens, 1995). Término relacionado: umbral

**Lixiviado:** Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos (LGPGIR).

**Material peligroso:** Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (LGEEPA).

**Matriz ambiental:** Elemento de un ecosistema en donde pueda estar incidiendo un contaminante después de su emisión. Puede ser el agua (de un río, laguna, estero o mar), el sedimento, el suelo o el aire.

**Marcador biológico:** Parámetro que se puede usar para identificar un efecto tóxico en un organismo y también en la extrapolación entre especies o como un indicador que señala un evento o condición en un sistema biológico o muestra y proporciona una medida de la exposición, efecto o sensibilidad. Sinónimo de Biomarcador.

**Mecanismo de acción tóxica:** Proceso por el cual el efecto de un tóxico es inducido. Por ejemplo: narcosis aguda, inhibición de la enzima acetil colinesterasa (Suter, *et al.*, 2000).

**Mecanismo de liberación:** Proceso físico, químico o biológico mediante el cual se hacen disponibles los contaminantes que se encuentran en un medio ambiental o compartimiento, como por ejemplo la fase sólida del suelo.

**Mecanismo de transporte:** Proceso físico mediante el cual los contaminantes migran hacia un medio ambiente y de él hacia otro medio.

**Medidas para reducir la exposición:** Acciones de remediación en las cuales no se produce una eliminación de los contaminantes del sitio, solamente se interrumpen a través de obras de ingeniería las rutas y vías de exposición. Ejemplos de dichas medidas son: construcción de coberturas superficiales de apilamiento de residuos, canales, diques de contención, cercas, confinamientos y rellenos controlados.

**Medidas institucionales para reducir la exposición:** Acciones de carácter administrativo con respecto al uso presente y futuro del sitio y sus alrededores, que contribuyen a reducir la exposición a contaminantes y que se deben realizar a partir de una indicación por parte de la autoridad competente, ejemplos de dichas medidas son: restricciones de uso de suelo, restricciones de acceso al sitio, restricciones de desarrollo urbano.

**Medios ambientales:** Cualquier elemento natural (suelo, el agua, el aire, las plantas, los animales o cualquier otra parte del medio ambiente) que participa en los flujos de materia y energía en el sistema y que puede contener contaminantes. También referidos como compartimientos.

**Modelo conceptual:** Herramienta que representa esquemática o descriptivamente un evento de contaminación en un sistema ambiental. Es utilizado para determinar los procesos físicos, químicos y biológicos que dan lugar al transporte de contaminantes desde la fuente hacia los medios ambientales y de ahí a los potenciales receptores del sistema, así como para determinar el grado de contaminación de un sitio.

**Modelo determinístico:** Modelo matemático donde todo es especificado y donde no se incluye un componente estocástico (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Monitoreo ambiental:** Conjunto de acciones para la verificación periódica del grado de cumplimiento de los requerimientos establecidos para evitar la contaminación del ambiente.

**Morbilidad:** Enfermedad. La tasa de morbilidad es el número de enfermedades o casos de enfermedad en una población.

**Muestreo biológico o dosimetría interna:** Determinación cuantitativa de la concentración del tóxico o sus metabolitos en uno o más medios corporales del organismo expuesto. Se usa para estimar la exposición que experimentan cada uno de los tejidos del cuerpo, con el fin de estimar la magnitud de la exposición ambiental y para demostrar que existió una exposición efectiva. El simple hecho de que el tóxico se encuentre dentro del organismo es la prueba de que existió la exposición.

**Nivel de referencia:** Concentración o dosis de un químico que esta en el umbral de toxicidad o de contaminación significativa (Suter *et al.*, 2000).

**Organismo:** Individuo; en el caso de organismos multicelulares se refiere a individuos formados por un sistema de órganos.

**Organismo blanco:** Especie crítica con valor económico o ecológico que se elige para su estudio. *Nota aclaratoria:* Se refiere a una especie crítica elegida para estudio.

**Organismos y/o poblaciones no humanas:** En evaluación integral de riesgos se refiere a todos los seres vivos, sean plantas, animales superiores o microorganismos. Estos son denominados biota en las ciencias biológicas.

**Peligro:** Capacidad inherente de un (o varios) agente (s) de estrés de causar efecto(s) adverso(s) cuando el hombre, sistemas o poblaciones están expuestos a él.

**Población potencialmente expuesta:** Grupos de individuos de la misma especie situados en el mismo tiempo y espacio en la proximidad o dentro de un sitio contaminado, que pueden

entrar en contacto con sustancias o compuestos de origen antropogénico presentes en el medio ambiente, susceptibles de ocasionar efectos adversos en la salud.

**Pasivo Ambiental:** Se considera a aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos, que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación. En esta definición se incluye la contaminación generada por una emergencia que tenga efectos a largo plazo sobre el medio ambiente.

**Perfil toxicológico:** Conjunto de informaciones toxicológicas de una sustancia a partir de estudios de laboratorio o campo por medio de los cuales se generaron los parámetros de toxicidad característicos de dicha sustancia.

**Plano:** Representación gráfica técnica de un sitio contaminado, puede darse como un dibujo técnico, en especial en el nivel local, donde se presenten los detalles requeridos en la evaluación de riesgo ambiental tales como linderos, calles, instalaciones, drenajes, edificaciones. En el nivel regional puede ser un plano o una fotografía aérea con suficiente resolución que permita identificar la información requerida y que haya sido geo-referenciada con coordenadas UTM, en ningún caso podrán ser utilizadas fotografías aéreas o satelitales que no permitan distinguir claramente los elementos requeridos en esta guía.

**Población:** Grupo de organismos de la misma especie que viven en un área definida y en un tiempo concreto (Smith y Smith, 2001).

**Población:** El conjunto de individuos de una especie silvestre que comparten el mismo hábitat. Se considera la unidad básica de manejo de las especies silvestres en vida libre (LGVS).

**Población receptora:** Poblaciones (humanas o biota) que están expuestas a los contaminantes, la población receptora es entonces la población expuesta.

**Puntos de exposición:** Son los sitios en donde sucede el contacto de los organismos con los contaminantes.

**Receptor:** Organismo, población o comunidad que está expuesta a contaminantes (Suter, 2000).

**Relevancia ecológica:** Respuestas que reflejan características importantes de altos niveles de organización biológica (por ejemplo poblaciones, comunidades, ecosistemas). Término que se emplea para respuestas que sugieren el estado (en estructura y función) de poblaciones, comunidades y ecosistemas.

**Relación causa-efecto:** Relación entre la cantidad de un agente administrado, incorporado o adsorbido por un organismo, población o ecosistema y el cambio desarrollado en tal organismo, población o ecosistema a causa del agente. Términos relacionados: relación dosis-efecto, relación dosis-respuesta, relación concentración-efecto, evaluación de efecto.

**Recolección:** Acción de recoger residuos para transportarlos o trasladarlos a otras áreas o instalaciones para su manejo integral (Regl. LGPGIR).

**Recursos biológicos:** Los recursos genéticos, los organismos o partes de ellos, las poblaciones, o cualquier otro componente biótico de los ecosistemas con valor o utilidad real o potencial para el ser humano (LGGEPA).

**Recurso natural:** El elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre (LGEEPA).

**Respuestas con relevancia ecológica** respuestas que indican el estado que guardan poblaciones, comunidades y ecosistemas en cuanto a su estructura y su función.

**Remediación:** Conjunto de medidas a las que se someten los sitios contaminados para eliminar o reducir los contaminantes hasta un nivel seguro para la salud y el ambiente o prevenir su dispersión en el ambiente sin modificarlos, de conformidad con lo que se establece en esta Ley. (LGPGIR).

**Residuo:** Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

**Residuos peligrosos:** Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente (LGEEPA).

**Residuo peligroso estabilizado:** Aquellos residuos que siendo clasificados como peligrosos, se encuentran estabilizados después de aplicarles un tratamiento biológico, térmico, físico y/o químico antes de ser confinados.

**Riesgo:** Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares (LGPGIR).

**Ruta de exposición:** Trayectoria que sigue un tóxico desde la fuente de emisión hasta el contacto con las poblaciones previamente seleccionadas como potencialmente expuestas, incluyendo la vía de ingreso del tóxico a los organismos expuestos. (Fuente de contaminación, medio ambiente y mecanismos de transporte, punto de exposición, vía de exposición y presencia de la población receptora). Esta definición incluye la definición de la NOM 147-SEMARNAT-2005

**Ruta de exposición:** Transporte eólico o hídrico que sigue el contaminante desde la fuente de contaminación hasta el organismo receptor.

**Ruta de exposición completa:** Cuando la ruta de exposición cuenta con todos sus elementos.  
*Nota aclaratoria:* Las rutas de exposición completas pueden ser actuales (presente) o futuras. Una ruta presente es aquella que al momento de realizar el estudio de evaluación de riesgo ambiental y existe como tal para el uso actual del predio. Una ruta de exposición futura es aquella dependiendo del uso o destino que se le vaya a dar al sitio después de la remediación. Estos usos propuestos por los responsables del sitio contaminado con base en el programa de remediación deben estar de acuerdo con los planes de ordenamiento urbano, municipal o regional que existan o en caso de no existir estos ser propuestos por responsable de la contaminación.

**Ruta de exposición incompleta:** Cuando falta(n) algún(os) elemento(s) de la ruta de exposición y que después de un cambio de las condiciones de un sitio contaminado pueden darse.

**Sitio contaminado:** Lugar, espacio, suelo, cuerpo de agua, instalación o cualquier combinación de éstos que ha sido contaminado con materiales o residuos que, por sus cantidades y características, pueden representar un riesgo para la salud humana, a los organismos vivos y el aprovechamiento de los bienes o propiedades de las personas (LGPGIR).

**Sub-organismo:** Término que hace referencia a niveles de organización biológica por debajo del nivel de organismo. Por ejemplo, bioquímico, molecular.

**Supra-organismo:** Término que hace referencia a niveles de organización biológica por arriba del nivel de organismo. Por ejemplo, población comunidades.

**Surrogado:** Un organismo o población de prueba que son cultivados en condiciones de laboratorio y que sirven como sustitutos de organismos, poblaciones o comunidades locales en pruebas de toxicidad (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Toxicidad.-** La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas (NOM 052-SEMARNAT-2005).

**Toxicidad ambiental.-** La característica de una sustancia o mezcla de sustancias que ocasiona un desequilibrio ecológico (NOM 052-SEMARNAT-2005).

**Toxicidad aguda.-** El grado en el cual una sustancia o mezcla de sustancias puede provocar, en un corto periodo de tiempo o en una sola exposición, daños o la muerte de un organismo. (NOM 052-SEMARNAT-2005). *Nota aclaratoria:* Tiempo corto respecto al tiempo generacional de los organismos (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Toxicidad crónica.-** Es la propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de causar efectos dañinos a largo plazo en los organismos, generalmente a partir de exposiciones continuas o repetidas y que son capaces de producir efectos cancerígenos, teratogénicos o mutagénicos (NOM 052-SEMARNAT-2005).

**Toxicidad subletal:** Capacidad de un agente de causar efectos a concentraciones por debajo de las que causan la muerte (concentraciones letales). Los efectos pueden ser a nivel conductual, bioquímico, fisiológico o histológico (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Toxicocinética:** Proceso que incluye la incorporación de compuestos tóxicos al cuerpo del organismo receptor, la biotransformación, la distribución de él y de sus metabolitos en el tejido y su eliminación (del tóxico inicial y de los metabolitos) del cuerpo del organismo receptor (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Toxicodinámica:** Proceso de interacción de compuestos tóxicos con sitios blancos (se refiere a sitios para comparación) y las consecuencias bioquímicas y fisiológicas que causan un efecto adverso (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Tratamiento:** Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad (LGPGIR).

**UTM:** La Proyección Transversal Universal de Mercator, sistema utilizado para convertir coordenadas geográficas esféricas en coordenadas cartesianas planas (Regl. LGPGIR).

**Umbral:** Concentración o dosis de exposición debajo del cual no es probable que ocurra un efecto (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Umbral fisiológico:** Sinónimo de límites de tolerancia.

**Vía de exposición:** Proceso por el cual el contaminante entra en contacto directo con el cuerpo, tejidos o barreras de intercambio del organismo receptor, por ejemplo, ingestión, inhalación y absorción dérmica.

**Vida silvestre:** Los organismos que subsisten sujetos a los procesos de evolución natural y que se desarrollan libremente en su hábitat, incluyendo sus poblaciones menores e individuos que se encuentran bajo el control del hombre, así como los ferales (LGVS).

**Xenobiótico:** Compuesto químico elaborado por el hombre o material no producido por la naturaleza y no considerado de manera normal como un componente de un sistema biológico (Van Leeuwen y Hermens, 1995).

**Vocación natural:** Condiciones que presenta un ecosistema para sostener una o varias actividades sin que se produzcan desequilibrios ecológicos (LGEEPA).

**Vulnerabilidad:** Conjunto de condiciones que limitan la capacidad de defensa o de amortiguamiento ante una situación de amenaza y confieren a las poblaciones humanas, ecosistemas y bienes, un alto grado de susceptibilidad a los efectos adversos que puede ocasionar el manejo de los materiales o residuos, que por sus volúmenes y características intrínsecas, sean capaces de provocar daños al ambiente (LGPGIR).



## Índice

<b>1. Antecedentes generales e información relevante del sitio</b>	<b>68</b>
1.1 Estudio histórico del sitio	69
1.2 Descripción del sitio	70
1.3 Caracterización de la contaminación de sitio	73
1.4 Evaluación de la movilidad de los contaminantes	73
1.5 Visita al sitio	74
<b>2. Definición del problema</b>	<b>74</b>
2.1 Primera evaluación de la información	75
2.2 Determinación de las necesidades de información complementaria	75
2.3 Selección de los contaminantes críticos	76
2.4 Selección de especies críticas u organismos blanco de interés especial	79
2.4.1 Reglas y criterios de selección de especies	79
2.4.2 Proceso de selección de las especies	79
2.5 Selección de los sitios de referencia	83
2.6 Evaluación de las rutas y vías de exposición	83
2.6.1 Identificación de las rutas y vías de exposición	83
2.6.2 Clasificación de las rutas de exposición	84
2.7 Modelo conceptual preliminar del sitio	84
2.8 Niveles de evaluación	85
2.8.1 Nivel 1	86
2.8.2 Nivel 2	88
2.8.3 Nivel 3	89
<b>3. Caracterización del riesgo</b>	<b>90</b>
3.1 Concentración o dosis de exposición	91
3.1.1 Fauna terrestre	91
3.1.2 Fauna acuática	93
3.1.3 Flora terrestre	94
3.1.4 Cálculo de factores de corrección de exposición	96
3.2 Efectos adversos de los contaminantes críticos	96
3.3 Cálculo del peligro	96
3.3.1 Flora terrestre	97
3.3.2 Fauna terrestre	97
3.3.3 Biota acuática	98
3.4 Estimación del riesgo	98
3.4.1 Método determinístico	98
3.4.2 Método probabilístico	98
3.5 Modificación del modelo conceptual del sitio	99
<b>4. Discusión, conclusiones y recomendaciones</b>	<b>99</b>
4.1 Discusión de los resultados	99
4.2 Conclusiones	101
4.3 Recomendaciones	101
<b>5. Herramientas para la determinación de efectos adversos en el escenario ecológico</b>	<b>102</b>
5.1 Evaluación de biomarcadores	102
5.1.1 Consideraciones para el uso de biomarcadores	103
5.1.2 Tipos de biomarcadores	104
5.2 Índices bióticos	106
5.3 Bioensayos de toxicidad	106
5.4 Caracterización del riesgo para las especies de interés	108
5.5 Ajuste del modelo conceptual del sitio	108

## ANEXO 1

### Método para la elaboración de Estudios de Riesgo Ambiental para sitios contaminados

El campo de aplicación de esta guía es la caracterización del riesgo para poder determinar la extensión y el tipo de las acciones de remediación a realizar en sitios contaminados afectados o dañados por materiales peligrosos o residuos peligrosos. De particular importancia serán: los recursos naturales, los ecosistemas con alto valor ecológico como son las Áreas Naturales Protegidas en todas sus modalidades, incluyendo los Parques Nacionales y las especies protegidas por la legislación vigente.

Los estudios sobre evaluación del riesgo ambiental asociado a sitios contaminados por materiales peligrosos y residuos peligrosos son complejos, debido a los diferentes aspectos que deben considerarse y a los diferentes enfoques a aplicar para su ejecución. Los siguientes lineamientos ofrecen una manera de abordar el estudio de riesgo, adecuada a las condiciones del país.

#### Conceptos clave en estudios de evaluación de riesgo

**Toxicidad:** Capacidad inherente de un compuesto químico de causar efecto(s) biológico(s) adverso(s).

**Efecto Adverso:** Cambio en la morfología, fisiología, crecimiento, desarrollo, reproducción de un organismo, sistema o población resultado del deterioro de su capacidad funcional, deterioro de la capacidad de compensación a factores adicionales de estrés o a un incremento en la susceptibilidad de otros factores.

**Peligro:** Capacidad inherente de un (o varios) contaminante(s) de causar efecto(s) adverso(s) cuando el hombre, sistemas o poblaciones están expuestos a él.

**Riesgo:** Probabilidad de que ocurra un efecto adverso sobre el hombre o el ambiente resultado de la exposición a uno o varios contaminantes.

**Evaluación de riesgo ecológico:** Proceso donde se evalúa la probabilidad de que ocurran efectos adversos en los niveles de organización biológica de la biota, causado por la exposición a compuestos tóxicos.

## 1. Antecedentes generales e información relevante del sitio

### 1.1 Estudio histórico del sitio

Preguntas clave que ayuden en la reconstrucción histórica de los eventos de la contaminación y la descripción de la situación jurídica del sitio están indicadas en el cuadro 1. La información de los antecedentes de la contaminación en el sitio podrá ser presentada en una tabla en donde se incluyan los siguientes datos:

- Eventos de la contaminación en orden cronológico indicando la fecha del suceso, la fuente de información y comentarios,
- Inicio de las operaciones del proceso contaminante o de las actividades que condujeron a la contaminación,
- Incluir un catálogo de los documentos consultados.

**Cuadro 1.** Preguntas clave sobre los antecedentes de la contaminación en el sitio de interés.

<p><b><i>Registro histórico de la contaminación:</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿Cuál fue el origen de la contaminación?</li> <li>2. ¿Desde cuándo existe la contaminación en el sitio?</li> <li>3. ¿La contaminación ha sido siempre la misma?</li> <li>4. ¿Cuándo se iniciaron las operaciones de la fuente contaminante?</li> <li>5. En el caso de las actividades contaminantes intermitentes ¿Desde que periodo sucedió la contaminación?</li> <li>6. ¿Qué eventos relevantes sucedieron desde el inicio de operación de las actividades y/o de la contaminación?</li> <li>7. ¿Que actividades humanas se desarrollaron cuando se originó la contaminación?</li> <li>8. ¿Cómo ocurrió la emisión del contaminante (por ejemplo por gases, por descarga de desechos líquidos y sólidos) y por lo tanto cual es el tipo de exposición (por ejemplo: por contacto en la piel, por inhalación o por ingestión) a los contaminantes del sitio?</li> <li>9. ¿Se han realizado acciones para remediar la contaminación?</li> </ol> <p><b><i>Preguntas sobre la situación jurídica del sitio contaminado:</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>10. ¿Quién es el o los dueños actuales del predio (sitio) contaminado?</li> <li>11. ¿Quién fue el o los dueños del predio (sitio) al momento de la contaminación?</li> <li>12. ¿Hay litigios o juicios con respecto al predio (sitio)?</li> </ol>
--

Las fuentes de información histórica de un sitio contaminado pueden ser:

1. Fuentes documentales oficiales: instituciones y oficinas gubernamentales a nivel estatal, y municipal para la obtención de los registros de agua, electricidad y drenaje, registro público de la propiedad. Otras fuentes documentales son el INEGI, la CFE, la CONAGUA.

2. Fuentes documentales no oficiales: universidades, consultorías, periódicos, revistas, registros de la empresa sobre los eventos relacionados con la contaminación en el sitio, expedientes, autorizaciones de construcción, permisos de descarga u otros.
3. Fuentes no documentales válidas: como por ejemplo entrevistas a ex trabajadores y pobladores del sitio, empleados municipales.

## 1.2 Descripción del sitio

La descripción del sitio incluye la siguiente información:

1. **Nombre del sitio:** nombre oficial y denominación popular.
2. **Ubicación del sitio:** dirección postal (estado, municipio, delegación, población, código postal, colonia, calle y número), coordenadas geográficas referenciadas, colindancias, plano de localización, lugares de referencia.
3. **Área del predio, área contaminada**
4. **Tipo de sitio:** descripción lo más cercano a la realidad y de acuerdo a las siguientes clasificaciones:



**Por actividad:**

**a. Disposición de residuos:** por ejemplo sitios controlados (relleno sanitario) o sitios no controlados (tiraderos a cielo abierto, sitios de disposición final).

**b. Área industrial:** instalaciones en las cuales se producen, manejan, almacenan y transportan materiales y residuos peligrosos, empleados en procesos productivos. Indicar el tipo de industria, por ejemplo química, curtiduría.

**c. Áreas de extracción, manejo (tratamiento y transformación) del petróleo y derivados:** campos de exploración y producción petrolera, ductos para la conducción o distribución de hidrocarburos, refinerías, estaciones de transferencia de diesel, combustóleo y turbosina, estaciones de gasolina y diesel, módulos de mantenimiento de transporte colectivo, estaciones de autobuses, gaseras y otros sitios semejantes como son Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) y campos de explotación.

**d. Áreas mineras:** predios y sitios donde se realizan actividades de exploración, explotación minera, sitios de molienda de mineral, fundidoras y áreas afectadas por las emisiones de las chimeneas, presas de jales mineros, graseros de escorias, tajos a cielo abierto y minas, zonas de almacenamiento temporal de minerales extraídos.

**e. Áreas agrícolas de aplicación de herbicidas y plaguicidas:** predios y superficies con actividad agrícola donde se han aplicado estos productos y donde se registren concentraciones lo suficientemente altas y que representen un riesgo potencial. También se considerarán aquellos lugares donde la aplicación de plaguicidas sea con fines sanitarios

**f. Accidentes (emergencias ambientales):** corresponde al predio donde ocurrió la emergencia ambiental y al área afectada por el derrame o fuga de materiales peligrosos o residuos peligrosos.

**g. Área comercial:** predios y áreas donde se manejan, almacenan y transportan residuos potencialmente peligrosos, que tienen fines de comercio o son sujetos a planes de manejo.

**h. Otros tipos:** se incluyen aquellos predios y sitios que no entran en los anteriores rubros y que presentan contaminación por actividades económicas, por ejemplo: ladrilleras clandestinas, depósitos clandestinos de residuos para la construcción, pozos cerrados de extracción de hidrocarburos.



**Clasificación por componentes ambientales involucrados:**

- Tipo de ecosistema y hábitat: por ejemplo bosque, estero, laguna,
- Tipo de ambiente: acuático, terrestre, marino, aéreo o una combinación de las anteriores,
- Tipo de matrices afectadas: agua, suelo, sedimento, polvo y aire.

5. **Contaminantes presentes en el sitio:** nombre de los contaminantes presentes en el sitio. Indicar si la fuente de información es oficial o en caso contrario reportar su ausencia. Nombrar también aquellos compuestos que presumiblemente se encuentran en el sitio.

6. **Origen de la contaminación y proceso contaminante:**

- Fuente contaminante principal y/o secundaria,
- Procesos que originaron la contaminación en el sitio,
- Matrices o medios físicos que son o fueron afectados por la contaminación.



7. **Exposición humana a los contaminantes del sitio:** temporalidad y características de la exposición humana a los contaminantes dependiendo a las actividades que se realizan en el sitio (por ejemplo económicas, recreativas).
8. **Barreras de acceso:** tipos y descripción de las restricciones que impidan el ingreso al sitio. Indicar la facilidad de acceso al sitio y el tipo de trámites para obtener el acceso al sitio.
9. **Uso de suelo:** indicar los usos de suelo que se le dio al sitio contaminado en el pasado. Así mismo, indicar el uso actual del sitio así como a las zonas adyacentes (las cuales conforman los sitios potencialmente contaminados), según las siguientes opciones:

Área de disposición de residuos	Áreas Naturales Protegidas, ANP
Residencia con alta densidad de población	Reservas de la biosfera
Residencia con baja densidad de población	Parques naturales
Escuela	Monumentos naturales
Hospital	Áreas de protección de recursos naturales
Parque	Áreas de protección de flora y fauna
Área infantil de juego	Santuarios
Áreas verdes	Parques y reservas estatales
Presa de agua para abastecimiento público	Zonas de preservación ecológica
Agua superficial para abastecimiento público	Suelo de conservación
Agua superficial sin uso	Terrenos sin uso
Pozo para abastecimiento público domiciliario	Zona ferroviaria
Área de protección al acuífero	Zona vial /carreteras
Área de interés público	Estacionamiento
Área de minería	Aeropuerto
Pozo para abastecimiento industrial	Área militar
Área pecuaria y ganadera	Área comercial y de servicios
Área agrícola	Área industrial
Cementerio	Servicio telefónico, gas
Áreas de recreación	Ducto de transporte de hidrocarburos

10. **Recursos naturales en el sitio:** descripción de los recursos naturales (por ejemplo lagunas, esteros, manglares, bosques, ecosistemas sensibles, especies de flora y fauna), que por su fragilidad, rareza, valor cultural, social o económico, o cualquier otra condición de importancia, deban ser protegidos por la normatividad vigente en la materia (por ejemplo, especies con algún estatus de protección dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001). La descripción puede basarse de estudios previos sobre la biodiversidad del sitio de interés y se requiere incluir:

- Recursos naturales en el sitio,
- Ecosistema(s) donde esta situado el sitio contaminado,
- Flora y la fauna del sitio,
- Hacer hincapié en las poblaciones que podrían estar siendo afectadas por el (los) contaminante (s).

### 1.3 Caracterización de la contaminación del sitio.

Descripción de la contaminación del sitio con base al estudio de caracterización indicado en el Anexo A.

### 1.4 Evaluación de la movilidad de los contaminantes.

Las características geográficas del sitio contaminado contribuyen al transporte y al destino de los contaminantes. Algunas de estas características son:

1. **Terreno:** Información topográfica del sitio
2. **Suelo:** Tipo de suelo y datos sobre la cubierta vegetal
3. **Cuerpos de agua superficial:**
  - Tipo de cuerpos de agua: por ejemplo, río, arroyo intermitente, lago, zona costera, laguna, esteros, mar.
  - Uso
  - Presencia y tipo de descargas: industriales, agrícolas, urbanas.
  - Antecedentes sobre inundaciones en los últimos años.
4. **Cuerpos de agua subterránea:**
  - Clasificación del acuífero: no confinado, semi-confinado o confinado.
  - Dirección de la corriente subterránea.
  - Antigüedad, localización, profundidad y usos de los pozos ubicados en la región.
5. **Datos meteorológicos relevantes:**
  - Precipitación pluvial
    - Promedio, máximos y mínimos anuales
    - Promedio en época de lluvia y en época de estiaje
    - Promedio, máximos y mínimos mensuales
    - Promedios de precipitación diaria (en caso de existir)
  - Temperatura: promedio mensual, anual y en época de frío y época de calor
  - Vientos: Dirección, cambio de dirección y velocidad en temporada de lluvia (junio-octubre) y en temporada de estiaje (noviembre-mayo).





**6. Otros datos relevantes del sitio.**

Las herramientas para la evaluación de la movilidad de los contaminantes son descritas en el anexo G.

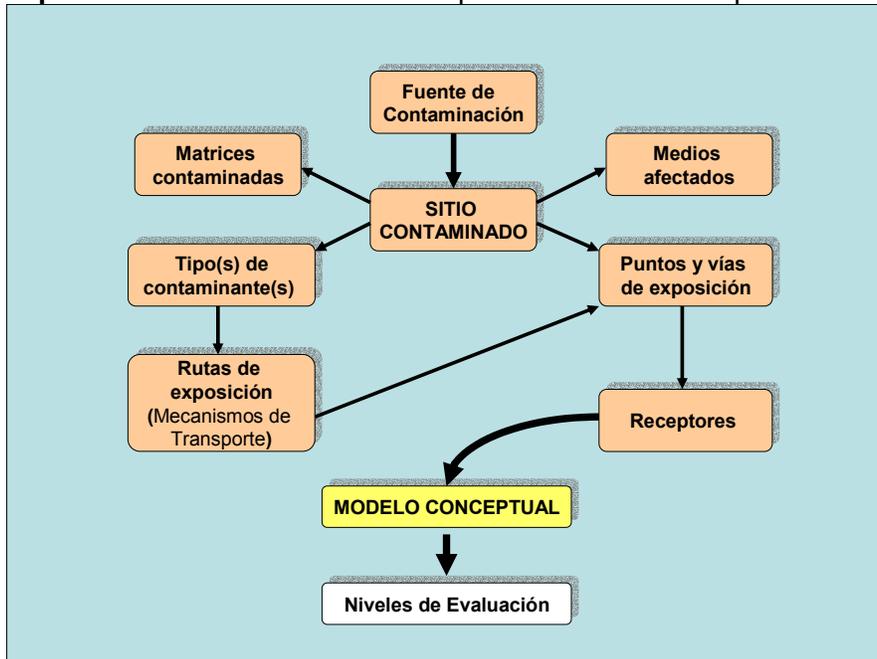
**1.5 Visita al Sitio**

La información documental de los puntos anteriores deberá estar acompañada de una memoria fotográfica y escrita del sitio. La memoria deberá incluir los registros de aspectos relacionados con la emisión, desarrollo y consecuencias de la contaminación en el sitio y un registro fotográfico.

**2. Definición del problema**

La definición y formulación del problema se basará en la evaluación de la información contenida en el estudio histórico del sitio, en el estudio de caracterización del sitio y en cualquier otro estudio realizado en el sitio. Los elementos que se requieren para la definición del problema están indicados en el esquema 1.

**Esquema 1.** Elementos necesarios para la definición del problema



Con autorización de la Dra. Cecilia Vanegas. Facultad de Ciencias, UNAM.

Es importante la consideración de los aspectos espaciales y temporales del estudio del sitio. Los elementos y condiciones del sitio se deben integrar en un modelo conceptual. También es importante señalar la amplitud de la evaluación, considerando aspectos espaciales como son los polígonos de afectación directa e indirecta y los aspectos temporales.

## 2.1 Primera evaluación de la información

En la primera evaluación se integrará la información existente, contenida en el estudio histórico, en los estudios de caracterización (anexo A) y cualquier otro estudio específico realizado para el sitio.

Se evaluará la presencia y consistencia de los datos y resultados de muestreos con respecto a la(s) ruta(s) de exposición, por ejemplo:

Suelo – Receptores	Suelo – Vapores – Receptores
Sedimento – Receptores	Suelo – Polvos – Receptores
Agua – Receptores	Suelo – Agua – Receptores
Atmósfera – Receptores	Suelo – Planta – Receptores

Los criterios para evaluar la información respecto a las rutas de exposición son:

- Características físico-químicas de los contaminantes,
- Características de las distintas matrices (agua, suelo, aire) del sitio,
- Movilidad de los contaminantes en el sitio,
- Posibles receptores en el sitio.



## 2.2 Determinación de las necesidades de información complementaria

Un plan muestreo específico es necesario, si una vez realizada la evaluación de la información histórica y la contenida en la caracterización del sitio, son requeridos los siguientes aspectos:

- Caracterización o muestreo adicional para obtener información sobre rutas de exposición no muestreadas, o
- Evaluar aspectos específicos de la migración de contaminantes dentro del mismo medio o de su movilidad de un medio físico a otro.

**La caracterización complementaria será orientada a:**

las rutas y vías de exposición, puntos de exposición y a las poblaciones receptoras o los recursos que pueden ser afectados.

### 2.3 Selección de contaminantes críticos

En los sitios contaminados pueden existir una gran variedad de sustancias o compuestos tóxicos. Sin embargo, resulta imposible evaluar la totalidad de ellos debido a los altos costos en tiempo y dinero. Por esta razón, es necesario realizar una selección de los contaminantes a ser evaluados, los cuales serán denominados como contaminantes críticos (CC).

Los contaminantes que no sean seleccionados en esta etapa, no serán considerados como contaminantes críticos y podrán eliminarse de la evaluación de riesgo ambiental.



#### 2.3.1 Proceso de selección de los contaminantes críticos

**Paso 1:** Comparar las concentraciones máximas de contaminantes presentes en las matrices afectadas (agua, suelo y sedimentos) con las concentraciones de fondo. La selección de los contaminantes de acuerdo a sus concentraciones en el sitio se hará a través de los siguientes criterios:

- Contaminantes cuya concentración en las matrices sean menores o iguales a las concentraciones de fondo, serán eliminados del estudio de riesgo. Si las concentraciones de fondo son desconocidas, éstas requieren ser determinadas.
- Los contaminantes críticos serán aquellos cuyas concentraciones sean superiores a las concentraciones de fondo. Los contaminantes que cumplan con esta característica deberán continuar con los pasos de selección indicados en los pasos 2, 3 y 4.

**Paso 2:** Se considerarán como contaminantes críticos todos los contaminantes que están clasificados como comprobados y posibles alteradores endócrinos para organismos de vida silvestre. El listado de compuestos clasificados dentro de esta categoría se encuentra en las siguientes fuentes:

- Comisión Europea (categorías 1 y 2): [http://ec.europa.eu/environment/docum/pdf/bkh\\_annex\\_13.pdf](http://ec.europa.eu/environment/docum/pdf/bkh_annex_13.pdf),
- Instituto Nacional de Ciencias Ambientales de Japón (posibles alteradores endócrinos): ([http://w-edcdb.nies.go.jp/HPEF/sp\\_Table3.html](http://w-edcdb.nies.go.jp/HPEF/sp_Table3.html)).

Es necesario que se indique la fuente donde se clasificó el compuesto como alterador endócrino y su categoría. Los contaminantes que no estén clasificados dentro de estas categorías deberán seguir el proceso de selección que se indica en los pasos 3 y 4.

**Paso 3:** Comparar las concentraciones de contaminantes presentes en las matrices afectadas (agua, suelo y sedimentos) con las concentraciones de referencia.

El valor de la concentración del contaminante a ser considerado podrá ser:

- Concentración máxima encontrada en cada una de las matrices afectadas del sitio en estudio,
- Límite superior del intervalo de confianza del 95% (Percentil 95),
- Cualquier otro valor estadístico que se considere adecuado.

Las concentraciones de referencia podrán ser:

- Concentraciones de referencia o límites máximos permisibles establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas.
- Concentraciones de referencia ecológica procedentes de las bases de datos indicadas en la tabla 1. En el caso de que se encuentren varias concentraciones de referencia ecológica para un mismo contaminante y una misma matriz, se recomienda considerar el valor de la media geométrica de todos los valores encontrados.



Características de las concentraciones de referencia ecológicas:

- Correspondientes de cada medio (agua dulce, agua de mar, sedimentos, suelo, aire),
- Preferentemente deberán basarse en estudios de toxicidad sobre especies de flora o fauna mexicanas,
- Concentraciones que corresponden a la Concentración con una Probabilidad de Efecto Tóxico Baja (CEB) y la Concentración más Alta de Efecto No Observado (CMENO).

**Tabla 1.** Ligas a bancos de datos de concentraciones de referencia ecológica

Fuentes de información	Liga a la base de datos o al documento
Dosis de exposición: Cal/Ecotox Species Toxicity Reports	<a href="http://www.oehha.org/cal_ecotox/speciestox_reports.htm">http://www.oehha.org/cal_ecotox/speciestox_reports.htm</a> <a href="http://www.oehha.org/scripts/cal_ecotox/CHEMLIST.ASP">http://www.oehha.org/scripts/cal_ecotox/CHEMLIST.ASP</a>
EPA/OSWER. Appendix E Toxicity Reference Values Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol	<a href="http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/eco-risk/volume3/appx-e.pdf">http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/eco-risk/volume3/appx-e.pdf</a>
NOAA- Límites de seguridad. Quality guidelines and squirt cards	<a href="http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html">http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html</a> <a href="http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/121_sedi_qual_guide.pdf">http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/121_sedi_qual_guide.pdf</a> <a href="http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/122_squirt_cards.pdf">http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/122_squirt_cards.pdf</a>
RAIS-Ecological Benchmark Tool	<a href="http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/eco/ECO_select">http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/eco/ECO_select</a>
EPA/ECOTOX Database	<a href="http://www.epa.gov/ecotox/">http://www.epa.gov/ecotox/</a>

Fuente: Dra. Rosa Maria Flores, Instituto de Ingeniería, UNAM, Dra. Cecilia Vanegas, Facultad de Ciencias, UNAM

Criterio de selección de contaminantes críticos de acuerdo a las concentraciones de referencia:

- Se consideran como contaminantes críticos aquellos contaminantes cuyas concentraciones sean superiores a las concentraciones de referencia ecológica,
- Contaminantes cuyas concentraciones en los medios sean menores o iguales a las concentraciones de referencia ecológica seguirán al paso 4.



**Paso 4:** Aplicar a los contaminantes que no fueron seleccionados en los pasos 2 y 3 los criterios que se indican en la tabla 2.

Criterio de selección de contaminantes críticos:

- Se considerará como contaminante crítico, el compuesto que supere los niveles de persistencia y bioacumulación indicados en la tabla 2 o que presente sinergismo con algún factor,

**Tabla 2.** Criterios de selección adicionales para contaminantes críticos.

Propiedad	Criterio
Persistencia	Tiempo de vida media en agua (T <sub>Ma</sub> ) > 30 días Tiempo de vida media en el suelo o sedimento (T <sub>Ms</sub> ) > 60 días
Bioacumulación	Factor de bioacumulación (FBA) o factor de bioconcentración (FBC) para el contaminante de interés > 1000, o logaritmo de la constante de partición octanol-agua (log K <sub>ow</sub> ) > 4.2
Sinergismo	Si un contaminante es afectado por factores de estrés no químicos que pudieran modificar su comportamiento, aumentando su toxicidad o peligrosidad y así afectar a los receptores, deberá ser considerado como contaminante crítico. Los factores de estrés son de indicarse.

Fuentes: Corl (2001) y CSF (2001)

Los tiempos de vida media, los FBC, FCA y los valores de Log K<sub>ow</sub>, se podrán obtener de literatura especializada. En todos los casos indicar la fuente bibliográfica.

## 2.4 Selección de especies críticas u organismos blanco de interés especial

### 2.4.1 Reglas y criterios de selección de especies

- Los organismos a estudiar podrán ser seleccionados con base en la información disponible del sitio. Los organismos de estudio deberán pertenecer a las especies habitantes del sitio contaminado,
- De no existir información sobre la biota del sitio, se podrá buscar la asesoría de biólogos y pobladores de la región,
- La selección de las especies, las características a estudiar y sus correspondientes respuestas serán congruentes con la definición del problema, es decir, se elegirán aquellos organismos que habiten en las matrices ambientales de destino de los contaminantes.

### 2.4.2 Proceso de selección de las especies

**Regla básica 1:** Selección de mínimo una especie cuando el sitio contaminado no este ubicado en un área de importancia comercial (regla básica 2) y no se encuentre en áreas relevantes ecológicamente (regla básica 3).

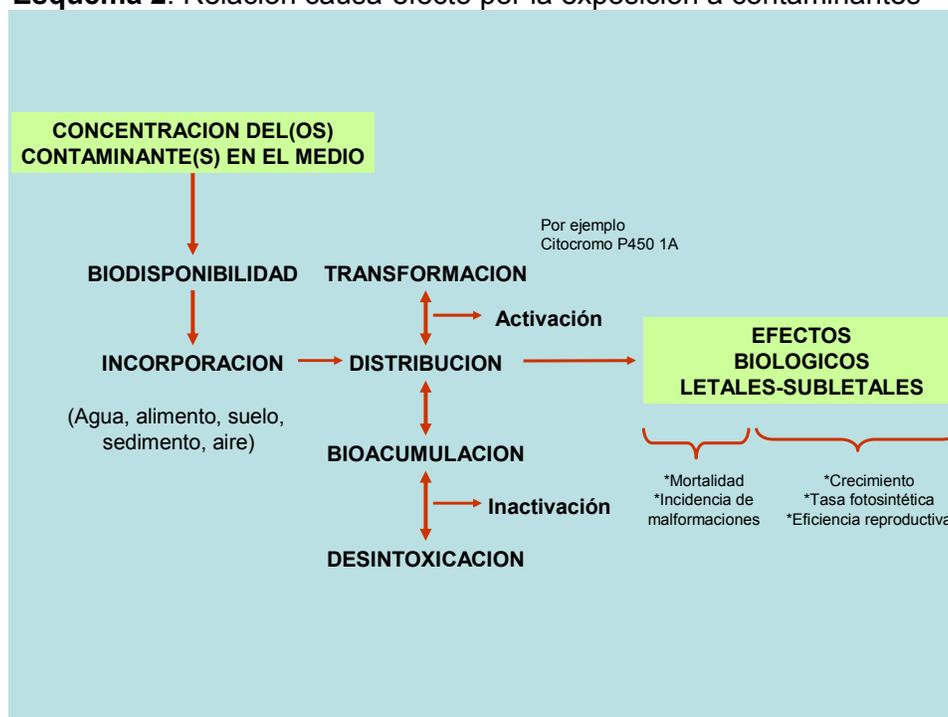




Los criterios para la selección de la (las) especie(s) crítica(s) son:

1. **Hábitat:** organismos de especies habitantes de la matriz afectada.
2. **Relevancia:** organismos clave en la estructura y el funcionamiento del ecosistema (por ejemplo en las relaciones de la cadena alimentaria).
3. **Antecedentes documentados o efectos visibles:** relaciones entre las causas de los contaminantes y los efectos de los organismos en el sitio. (relaciones causa-efecto; esquema 2).

**Esquema 2.** Relación causa-efecto por la exposición a contaminantes



Con autorización de la Dra. Cecilia Vanegas. Facultad de Ciencias, UNAM.

4. **Valor económico o uso para consumo:** organismos con valor cultural y comercial debido a su uso para consumo humano, materia prima para la realización de otros bienes, adorno, turismo.
5. **Los efectos adversos** de la contaminación en la especie se magnifican por otros fenómenos o factores ajenos a la contaminación.

6. **Abundancia, distribución o predominancia** de la especie en el sitio.
7. **Muestreo:** organismos con factibilidad a ser muestreados.
8. **Movilidad:** organismos de especies con poca movilidad en la matriz y que reflejen la exposición a los contaminantes del sitio.
9. **Conocimiento de la biología de la especie:** organismos de especies cuyos aspectos tróficos, etológicos, fisiológicos y de hábitat son conocidos.

**Adicionalmente pueden aplicarse otros criterios,  
los cuales es necesario que sean bien fundamentados y documentados.**

**Regla básica 2:** Para sitios ubicados en áreas con carácter eminentemente agrícola, piscícola, o ganadero se deberá elegir la(s) especie(s) productiva(s) relevante(s).

Para las actividades arriba mencionadas que se desarrollan en zonas de amortiguamiento de Áreas Naturales Protegidas se determinaran además la(s) característica(s) o aspecto(s) específicos de los organismos o especies protegidas que en ellas residan y que deben ser considerados durante la evaluación de riesgo. Ejemplos de estos aspectos son el crecimiento, tasa de reproducción, variabilidad, movilidad, interacción con asentamientos humanos, hábitat compartido.



**Regla básica 3:** Para sitios contaminados ubicados en reservas de la biosfera, parques naturales, áreas de protección de recursos naturales, áreas de protección de flora y/o fauna, monumentos naturales, santuarios, ambientes acuáticos con zonas de relevancia ecológica no protegidas como las zonas lagunares-estuarinas y donde se han identificado ecosistemas y/o especies de alto valor ambiental o protegidas por la NOM-059-SEMARNAT-2001.

Los criterios de selección de las especies críticas están indicados en la regla básica 1.

**Regla ideal para la elección del número y tipo de especies:**

1 especie por nivel trófico; 3 niveles tróficos por hábitat.

Los niveles deben estar relacionados tróficamente.

**Niveles tróficos a considerar son:**

autótrofos, descomponedores, consumidores primarios y  
consumidores secundarios.



En el caso de que el sitio contaminado incluya varios ecosistemas (por ejemplo, terrestre, humedal y acuático) para contar con una mayor información, se podrán elegir por lo menos una especie por ambiente.

En Áreas Naturales Protegidas se deberá distinguir entre la zona de amortiguamiento y la zona núcleo y esto se tomará en consideración en la elección de las especies.

**Organismos silvestres de especies clasificadas dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2001 no deben ser muestreados, ni alterados.**

Condiciones para el no uso de las especies críticas dentro del estudio de riesgo:

- Dificultad para muestrear organismos de la especie crítica,
- La biología de la especie no es conocida,
- La especie presenta algún estatus de protección,
- La especie es rara.

Características que deben tener las especies que sustituyan a las especies críticas:

Se podrán utilizar especies de menor importancia dentro del problema del sitio contaminado, si se puede estimar la exposición de las especies críticas a través de ellas ya sea por relación trófica, semejanza u otra característica que permita su comparación.

Es necesario que los criterios empleados para la elección de la especie sean fundamentados.



## 2.5 Selección de los sitios de referencia

Para efectuar la selección de un sitio de referencia será necesario realizar una visita de inspección para verificar si la mayoría de los criterios que a continuación se señalan se cumplen y de ser posible en la medición rápida de alguno de las características mencionadas.

Criterios de selección de sitios de estudio contaminados:

- La matriz ambiental a referenciar se requiere que sea la misma,
- Flora y fauna similar a las del sitio de estudio,
- La misma unidad geográfica,
- Fuera de los límites espaciales de la contaminación del sitio de estudio,
- Características climáticas como por ejemplo: precipitación pluvial, temperatura,
- Características similares del cuerpo de agua: salinidad, contenido de materia orgánica, temperatura, aportes externos,
- El tipo del suelo como por ejemplo: contenido de materia orgánica, textura,
- La topografía,
- Accesibilidad al sitio.

Otras consideraciones a tomar en cuenta son:

- Las características del sitio de referencia elegido serán similares al sitio de evaluación o de estudio, excepto la presencia del (los) contaminante(s) en análisis,
- Un sitio de referencia preferentemente, no deberá presentar alteraciones debidas a los contaminantes presentes en el sitio de estudio o recibir aportes de los mismos. Sin embargo, se puede considerar podrá estar ubicado en una zona de menor impacto, considerando un gradiente de contaminación en relación con la fuente de emisión,
- Es necesario que este lo más cercano posible al sitio de estudio, cumpliendo con los criterios arriba señalados,
- Cuando se elige un sitio de referencia con alteraciones existentes, es decir cuando no provengan del sitio de estudio, será necesario registrarlas y documentarlas.

## 2.6 Evaluación de las rutas y vías de exposición

Para determinar la exposición a contaminantes críticos es importante identificar las rutas y vías de exposición presentes y futuras.

### 2.6.1 Identificación de las rutas y vías de exposición.

Los elementos que son necesarios para identificar las rutas de exposición son:

1. **Fuente de contaminación:** características físicas de la fuente de contaminación activa o inactiva, antigüedad.



2. **Medio físico afectado:** aire, agua (superficial o subterránea), suelo, sedimento, polvo, plantas, alimentos o cualquier medio responsable de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición.
3. **Mecanismo de transporte de los contaminantes:** convección, advección, dispersión, difusión, transporte eólico, erosión del suelo, volatilización del suelo o partículas suspendidas, corrientes de agua.
4. **Punto de exposición a los receptores:** lugar donde los organismos o poblaciones entran en contacto con los contaminantes; por ejemplo, cuerpos de agua, madrigueras.
5. **Vía de exposición:** inhalación (aire, vapores, gases, partículas finas), ingesta (agua, partículas de suelo, alimento, humo, polvo), contacto dérmico (agua, polvos, vapores, gases); (a) plantas: contacto pared celular, (b) animales terrestres contacto dérmico, (c) animales acuáticos: contacto epitelial.
6. **Población receptora:** poblaciones que están expuestas a los contaminantes. También es denominada población expuesta.

### 2.6.2 Clasificación de las rutas de exposición.

La elección de las rutas de exposición importantes para la evaluación de la exposición a los contaminantes críticos se hará en base a la siguiente clasificación:

**Ruta de exposición completa:** ruta de exposición que cuenta con todos sus elementos deberá ser considerada para su evaluación dentro del estudio de riesgo.

**Ruta de exposición no completa o ruta potencial:** ruta que carece de alguno de sus elementos, su consideración como ruta importante de exposición queda a criterio del evaluador.

## 2.7 Modelo conceptual preliminar del sitio

El modelo conceptual incluirá la descripción gráfica, esquemática y escrita de la relación entre la fuente de la contaminación y los receptores vulnerables potenciales.

Elementos del modelo:

- Fuente de los contaminantes críticos seleccionados,
- Rutas de exposición (mecanismos de transporte),
- Vías de exposición,

- Receptores de la contaminación,
- Posible migración de los contaminantes de un medio físico a otro y su posible migración fuera de los límites del sitio de estudio,
- Otros factores de estrés diferentes a los contaminantes evaluados,
- Factores que modifiquen el efecto de los contaminantes sobre los receptores (por ejemplo, el estado nutricional de los organismos receptores, la temperatura, salinidad y pH del medio, presencia de materia orgánica, aporte de sedimentos).



Otra información fundamental para describir es:

- Consecuencias negativas al medio ambiente y a las poblaciones expuestas al (los) contaminante(s) crítico(s),
- Respuestas biológicas que serán evaluadas en el estudio de riesgo ambiental.

Durante el desarrollo de la formulación del problema, el modelo conceptual podrá ser modificado con el propósito de que se incorporen nuevos elementos o se consideren solo aquellos elementos relevantes para la decisión de las acciones de remediación.

## 2.8 Niveles de evaluación

Una vez que el tipo de área y el tipo de receptor se han identificado, el evaluador elegirá uno de los tres niveles de evaluación en función de la información disponible. La elección de alguno de los tres niveles de evaluación depende principalmente de la calidad de la información disponible. Cabe recalcar que entre mayor es el nivel de evaluación, menor es la incertidumbre asociada.

**Elementos necesarios e indispensables para cualquiera de los tres niveles de evaluación:**

la caracterización del sitio y los niveles de la concentración de los contaminantes en todos los medios afectados

En los niveles 1 y 2 de estudio, para evaluar la exposición se aplica un método determinístico, por lo tanto, los valores puntuales de exposición y de toxicidad deben ser evaluados.

En el nivel 3 se puede aplicar adicionalmente un método probabilístico para generar distribuciones de probabilidad de las variables, la exposición y el riesgo.



### 2.8.1 Nivel 1

#### Condiciones:

- No se tiene información sobre los valores de toxicidad de referencia (VRT) para el contaminante y el organismo de interés.
- No se tienen datos de campo referentes a las características de la exposición de los organismos en el sitio de estudio que definen las dosis de exposición, como por ejemplo: peso corporal, tasas de ingestión de agua, suelo o alimento, concentraciones de los contaminantes en la dieta, composición de la dieta, proporción de cada tipo de alimento.

#### Características:

- En este nivel se evalúan efectos a nivel organismo, pero no pueden establecerse efectos a nivel de las poblaciones, comunidades o ecosistemas.

#### Procedimiento:

Para determinar las acciones y los niveles de remediación se puede elegir el nivel 2 de estudio o realizar el siguiente procedimiento:

1. Obtención los valores de toxicidad de referencia (VRT) de la bibliografía, pertenecientes a otras contaminantes y/o especies, los cuales presentan características y comportamientos semejantes (surrogados).
2. Aplicación de las ecuaciones alométricas con los VRT de los surrogados o algún otro método que se presente en la literatura internacional para especies de fauna y flora del sitio con el fin de estimar las condiciones de exposición de los organismos evaluados. Pueden emplearse las bases de datos especializadas para el peso corporal, tasas de ingestión de agua, suelo o alimento, concentraciones de los contaminantes en la dieta, composición de la dieta, proporción de cada tipo de alimento.
3. Determinación de la afectación a los recursos naturales y su vulnerabilidad, esto con el fin de establecer las acciones de remediación necesarias para reducir la exposición a los contaminantes, la vulnerabilidad de los recursos naturales o para eliminar los

contaminantes del sitio. Aplicar el numeral 4.1 (4.1 a 4.14) de la guía, principalmente es de atender y determinar la información de los numerales con respecto a la evaluación de la movilidad de los contaminantes y con base en todo lo anterior determinar el riesgo total.

En este nivel de evaluación siempre deben considerarse las condiciones máximas de exposición, por ejemplo concentraciones máximas en los medios ( $C_{i,s, \max}$ ), factores de corrección de exposición (FCE) igual a 1.



### **Justificación:**

La siguiente información es de presentarse:

- La justificación de cómo se seleccionaron los diferentes valores empleados,
- La justificación de la selección de la especie de comparación,
- Las fuentes de información bibliográfica empleadas,
- Las principales fuentes de incertidumbre asociadas.

Si se aplica un nivel 1, es de considerarse la gravedad de la afectación y la posibilidad de perder un ecosistema protegido e irremplazable. Para reducir estas posibilidades, se podrá elegir un nivel de estudio más detallado, aun cuando no existan los datos genéricos toxicológicos. La opción para disminuir la incertidumbre es aplicando el nivel 2 y 3 de estudio.

### **Ventajas**

- El tiempo de estudio es relativamente reducido,
- Pueden resultar valores seguros para los ecosistemas.

### **Desventajas**

- Aplicando este procedimiento se obtendrán niveles de exposición con alto grado de incertidumbre y por lo tanto niveles de remediación estrictos, lo que puede conducir a altos costos de remediación.
- La incertidumbre acerca de los mecanismos reales de afectación es mayor y por lo tanto las medidas o acciones de remediación tenderán a ser más estrictas para disminuir la influencia de los distintos mecanismos de transporte y de las rutas de exposición.

## 2.8.2 Nivel 2

### Condiciones:

- Se cuenta con alguna información específica para el problema que se está evaluando. La información incluye:
  - Información bibliográfica sobre VRT para el contaminante de interés,
  - Información bibliográfica sobre VRT las especies de interés,
  - Datos de campo referentes a las características de exposición de los organismos en el sitio de estudio, como por ejemplo: peso corporal, tasas de ingestión de agua, suelo o alimento, concentraciones de los contaminantes en la dieta, composición de la dieta, proporción de de cada tipo de alimento,
- Se desea estudiar con más detalle la situación de las especies y los ecosistemas para obtener niveles de remediación con menos incertidumbres en el caso de no existir información toxicológica específica para las especies o los contaminantes.

### Características:

- En este nivel se evalúan efectos a nivel organismo, pero no pueden establecerse efectos a nivel de las poblaciones, comunidades o ecosistemas.

En este nivel generalmente se evalúan efectos a nivel de los organismos elegidos previamente y en la mayoría de los casos no se pueden evaluar efectos a nivel de las poblaciones, comunidades o ecosistemas.

El objetivo de este nivel de estudio es determinar los Índices de Peligrosidad de los contaminantes críticos con respecto a las especies elegidas.

- Si el Índice de Peligro CP < 1, entonces las medidas de remediación se enfocarán al monitoreo de la contaminación siempre y cuando estos niveles sobrepasen las concentraciones de referencia de las Normas Oficiales Mexicanas o aquellas establecidas por la SEMARNAT. Si las concentraciones no sobrepasan las Normas Oficiales Mexicanas o aquellas establecidas por la SEMARNAT entonces no existe la obligación de la reparación de daños,
- Si el Índice de Peligro CP > 1, entonces se puede optar por determinar las acciones de remediación necesarias para reducir la exposición de las especies y poblaciones a los contaminantes críticos con base en un nivel de riesgo aceptable. También se puede optar por extender el estudio a su nivel 3 antes de determinar las acciones de remediación correspondientes.

Se deberá indicar la fuente, el método y la memoria de cálculo de las variables que se emplearon para la determinación del coeficiente de peligro. Las variables pueden ser obtenidas a partir de los resultados de pruebas de campo, fuentes bibliográficas, bases de datos especializados, o a partir de un método de cálculo indirecto por ejemplo ecuaciones de escalamiento "alométrico". Dichas ecuaciones describen la relación entre dos variables o propiedades de un organismo, como por ejemplo peso corporal o longitud contra el consumo de oxígeno o crecimiento poblacional). La relación se aplica para el cálculo de la variable de un organismo a través de la relación con las variables de otro organismo.

Es necesario indicar en el informe de investigación la siguiente información:

- La justificación de cómo se seleccionaron los diferentes valores empleados,
- Las fuentes de información bibliográfica empleadas,
- Las bases de datos empleadas,
- Los métodos de prueba de campo para determinar los valores,
- Las principales fuentes de incertidumbre asociadas.



### 2.8.3 Nivel 3

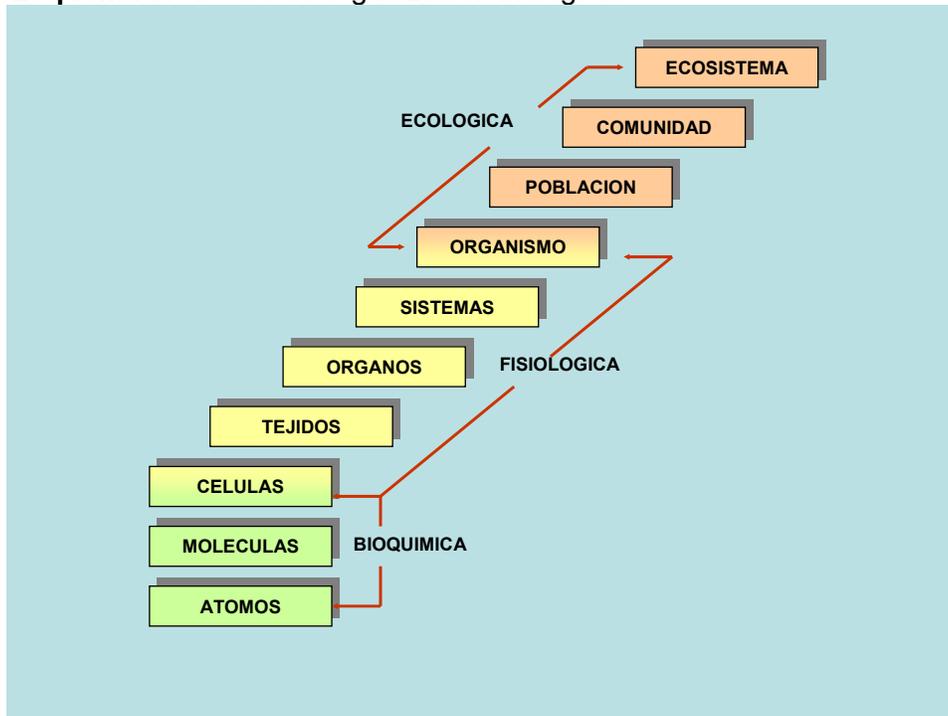
#### Condición:

- Un estudio se realiza a nivel 3 cuando se requiere profundizar el estudio, debido a que el Coeficiente de Peligro fue  $> 1$  en el estudio realizado con el nivel 2.

#### Características:

- El estudio incluye la evaluación detallada de la movilidad de los contaminantes, con el fin de establecer de manera precisa el destino ambiental final de los contaminantes críticos, el comportamiento de la exposición y la evaluación del riesgo total,
- El estudio se enfoca en particular sobre el efecto de los contaminantes a través de las cadenas alimentarias y en el hábitat de las especies críticas elegidas,
- Se genera información referente a las poblaciones, comunidades o ecosistemas, de tal manera que se pueda establecer efectos de (los) contaminante(s) sobre alguno(s) de los niveles altos de organización biológica (esquema 3),
- Por ejemplo, el tamaño de la población de una o varias especies, la composición de una comunidad, la densidad de la población de una o varias especies, densidad relativa de las poblaciones, distribución de tallas en las poblaciones, distribución de sexos en las poblaciones. En estos casos es necesario establecer claramente la relación causa-efecto y considerar la variabilidad estacional de las relaciones.
- Se emplean biomarcadores de efecto o de exposición para evaluar la relación causa-efecto. En este caso se pueden realizar bioensayos para estimar concentraciones tóxicas de exposición crónica, subcrónicas o aguda con organismos pertenecientes a las especies críticas para el sitio de estudio, o
- Se aplican métodos probabilísticos para estimar el riesgo y las variables necesarias en las ecuaciones que serán empleadas.

**Esquema 3.** Niveles de organización biológica.



Con autorización de la Dra. Cecilia Vanegas. Facultad de Ciencias, UNAM.

Las **acciones de remediación** necesarias deberán ser determinadas después de la determinación de la exposición total de los organismos a los contaminantes críticos.

### 3. Caracterización del riesgo

En la presente guía se recomienda caracterizar el riesgo a través del método de Índice de Peligro (IP), donde el riesgo se obtiene al dividir la dosis o concentración a la cual están expuestos (CE ó DE) los organismos de las especies críticas entre VRT.

$$IP = \frac{CE \text{ ó } DE}{VRT}$$



## Ventajas

- Es relativamente fácil de utilizar, y
- Permite obtener concentraciones de remediación.

Otros métodos podrán ser utilizados pero se requiere que proporcionen información sólida y bien fundamentada sobre el riesgo total.

En caso de no contar con suficiente información que permita obtener el valor numérico de riesgo, es necesario obtener una descripción de los riesgos posibles y de los factores que deben medirse y estudiarse con el fin de reducir el riesgo.



### 1. Organismos terrestres

Para organismos terrestres, el Índice de Peligro se obtiene dividiendo la dosis de exposición por un valor de toxicidad de referencia como la Dosis Máxima de Efecto Adverso No Observado (DMENO).

### 2. Organismos acuáticos

Para organismos acuáticos, incluyendo a los bentónicos, el valor de toxicidad de referencia podrá ser el valor del efecto agudo del contaminante en estudio ( $CL_{50}$  o  $CE_{50}$ ), multiplicado por un factor de incertidumbre de 1000. Los valores de  $CL_{50}$  y  $EC_{50}$  a X horas de exposición indican la concentración donde el 50% de la muestra de organismos expuestos en un tiempo X (h) muere (CL) o donde se tiene un efecto diferente a la muerte (CE), bajo condiciones de laboratorio específicas.

## 3.1 Concentración o dosis de exposición

La determinación de la DE o CE podrá hacerse a través del método determinístico.

### 3.1.1 Fauna terrestre

En organismos terrestres, para la estimación de la DE será considerada la exposición crónica y será necesaria la evaluación de las tres vías de exposición:

- Ingestión de agua, alimentos y suelo contaminados,
- Inhalación de partículas del suelo y vapores contaminados, y
- Contacto dérmico con vapores o partículas de suelo contaminados.

Las dosis que los organismos obtienen de cada una de las vías evaluadas, serán asociadas posteriormente con el VRT específico para esa vía.

Generalmente, la vía de exposición oral es la que representa el mayor riesgo y deberá ser evaluada. Sin embargo, si el evaluador considera que otra vía es particularmente importante en un sitio, será necesario que se incluya en la evaluación y que sean empleados VRT propios de esa vía de exposición. La estimación de la Dosis de Exposición (DE) se realiza con la siguiente fórmula general:

$$DE = f(C, TI, PC, FCE)$$

Ingestión de sedimentos:

$$DE_{i,m} = \frac{C_{i,s} * TI_s}{PC} * FCE_s$$

Ingestión de agua:

$$DE_{i,m} = \frac{[C_{i,w} * TI_w]}{PC} * FCE_w$$

Alimentos

$$DE_{i,m} = \frac{\sum_{i=1}^N [(FA_i) * (C_{i,a} * TI_{T,a})]}{PC} * FCE_a$$

Donde:

DE <sub>i,m</sub>	Dosis de exposición de la sustancia i en el medio físico o tipo de alimento m	mg/Kg.d
C <sub>i,m</sub>	Concentración de la sustancia i en el medio físico o tipo de alimento m	mg/Kg
PC	Peso corporal	Kg
TI <sub>i,m</sub>	Tasa de ingesta de la sustancia i en el medio físico o tipo de alimento m	Kg/d ó L/d
FCE	Factor de corrección de exposición	
FA	Fracción de alimento contaminado por área o por masa	
m	Puede ser alimento (a), agua (w), sedimento (s)	
T	Total	
f	Función	

La dosis de exposición total se obtiene sumando los tres tipos de dosis de exposición.

$$DE_{INGT} = DE_s + DE_w + DE_a$$

Donde:

DE <sub>INGT</sub>	Dosis de exposición total por ingestión
--------------------	---

Debido a que en organismos silvestres la exposición a contaminantes, a través de inhalación o contacto dérmico puede ser despreciable, la estimación de la dosis de exposición total ( $DE_T$ ) podrá ser considerada como la dosis de exposición por ingestión ( $DE_{ING}$ ):

$$DE_T = DE_{ING}$$

Fuente: Natural Resources Conservation Commission (2000). Guidance for conducting ecological risk assessment at remediation sites in Texas. Draft final.



### 3.1.2 Fauna acuática

En los organismos acuáticos, incluyendo los bentónicos, la exposición estará determinada por la concentración del contaminante en el agua o sedimentos a la cual están expuestos. Por lo tanto se necesita haber caracterizado el cuerpo de agua o los sedimentos de manera espacial y estacionalmente, con el fin de tener una concentración representativa del lugar, la cual haga sugerencia de la Concentración de Exposición para los organismos.

Será necesario conocer las vías de incorporación de los contaminantes de las especies de interés, y la vía de exposición más importante, la cual puede ser:

- por contacto con agua,
- por ingestión de alimentos, o
- por contacto con sedimentos.

Es posible considerar la exposición total igual a la exposición de la vía evaluada más importante.

Incorporación por ingestión:

$$DE_{i,a} = \frac{[C_{i,a} * TI_a]}{PC} * FCE$$

Incorporación por contacto:

$$CE = C_{i,w}$$

Donde:

DE <sub>i,a</sub>	Dosis de exposición de la sustancia i a través del alimento	mg/Kg.d
Ci <sub>i,a</sub>	Concentración de la sustancia i en el alimento	mg/Kg
TI <sub>a</sub>	Tasa de ingestión del alimento	Kg/d ó L/d
PC	Peso corporal	Kg ó mg
FCE	Factor de corrección de la exposición	
CE:	Concentración de exposición	mg/L
C <sub>i,w</sub> :	Concentración del contaminante i en el agua	mg/L

La concentración de exposición por contacto será considerada como la concentración del contaminante crítico en el agua, debido a que en la mayoría de los casos es imposible poder determinar la superficie de contacto de un organismo acuático.

### 3.1.3 Flora terrestre

Para la determinación de la concentración de exposición de organismos vegetales, es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Concentración del contaminante crítico en suelo,
- Concentración en los organismos de las especies de vegetales críticas. Según el objetivo y la especie en estudio es importante considerar la parte de la planta a evaluar. Por ejemplo, si es una planta de consumo humano considerar las partes que son consumidas, si plantas que son importantes dentro de la estructura y funcionamiento del ecosistema considerar las hojas que son la parte principal de fotosíntesis y que pueden ser la parte de consumo principal para otros organismos (por ejemplo los herbívoros),
- Efectos a través de índices: índices de riqueza de especies, índice de diversidad, índice de equitatividad, índice de similitud, índices de integridad biótica, coeficientes de riesgo ecológico. Se requiere que sea fundamentado el uso de otro tipo de índices.

Para determinar si existen o no efectos adversos en plantas, se requiere considerar los siguientes aspectos:

- Comparar los índices arriba señalados del sitio contaminado con los índices de un sitio de referencia,
- Comparar la concentración de los contaminantes en los organismos de las especies críticas del sitio de referencia con aquellas del sitio contaminado,
- Evaluar los efectos de los contaminantes presentes en el suelo con las especies del sitio de referencia. Solo si se cuenta con un sitio de referencia y los índices calculados presentan diferencias significativas,
- Evaluar el efecto de los contaminantes en respuestas fisiológicas de vegetales de interés, cuando no se tiene un sitio de referencia. La alteración puede determinarse por ejemplo a través de la tasa fotosintética, la captación de CO<sub>2</sub>, la germinación, el área foliar, la reproducción,
- Si no se tiene sitio de referencia, determinar los niveles de referencia base (concentraciones de los compuestos que tienen una función biológica conocida en los organismos) de los contaminantes críticos.



### 3.1.4 Cálculo de los factores de corrección de la exposición

Los factores necesarios a ser considerados en la determinación de la exposición son:

- Factores alométricos y metabólicos,
- Tasas de contacto,
- Dinámica poblacional,
- Actividades estacionales,
- Factores atribuibles al clima,
- Factores atribuidos a las características del sitio como es la topografía.

Valores numéricos entre 0 y 1 que indican la variación de la dosis de un contaminante a la que está expuesto un organismo por vía oral, por inhalación o por contacto dérmico. En general, la variación puede corresponder a:

- La diferencia en la biodisponibilidad del contaminante,
- La fracción de los medios o alimentos contaminados que entran en contacto con los organismos evaluados,
- La distribución espacial de los alimentos ingeridos.

El factor tendrá siempre un valor de 1, a menos que se tenga información documentada y suficiente para fundamentar que sea diferente a 1.

El FCE puede ser calculado, a partir de los cocientes de los siguientes factores y la concentración total o tiempo total, según sea el caso:

$$FBD = \frac{CB}{C_T} \quad FA_{\text{area}} = \frac{A_{AC}}{A_T} \quad FA_{\text{peso}} = \frac{AC}{A_T}$$

Donde:

FBD	Factor de biodisponibilidad	
CB	Concentración biodisponible	mg/L
C <sub>T</sub>	Concentración total	mg/L
FA	Fracción de alimento contaminado por área o por masa	m <sup>2</sup> ó Kg
A <sub>AC</sub>	Cantidad de alimento en área contaminada	Kg
A <sub>T</sub>	Cantidad de alimento total	Kg
AC	Cantidad de alimento contaminado	Kg

El factor de corrección de la exposición total (FCE<sub>T</sub>) resulta multiplicando todos los factores:

$$FCE_T = FBD * FA_{\text{area}} * FA_{\text{peso}}$$



### 3.2 Efectos adversos de los contaminantes críticos

Para la determinación de los efectos adversos de los contaminantes críticos, se podrán usar los Valores de Toxicidad de Referencia (VRT), cuyo origen depende del nivel de evaluación que se usará:

- Para los niveles de evaluación 1 y 2, estos valores de referencia proceden de fuentes bibliográficas. Algunas fuentes de información se muestran en la tabla 3,
- Para el nivel de evaluación 3 estos valores pueden proceder de bioensayos realizados con especies de fauna que son de interés para el sitio de estudio.

En todos los casos debe presentarse una justificación de cómo se seleccionaron los diferentes valores empleados, y deberán indicarse las fuentes de información bibliográfica empleadas. Asimismo, deberá indicarse cuáles son las principales fuentes de incertidumbre asociadas. Cuando los valores sean obtenidos de manera específica para el sitio de estudio a través de bioensayos o biomarcadores, deberá explicarse el método empleado y el tratamiento que se haya dado a la información.

**Tabla 3.** Bases de datos con valores de toxicidad de referencia.

Fuentes de información		Liga a base de datos o documento
Cal/Ecotox Reports	Species Toxicity	<a href="http://www.oehha.org/cal_ecotox/speciestox_reports.htm">http://www.oehha.org/cal_ecotox/speciestox_reports.htm</a> <a href="http://www.oehha.org/scripts/cal_ecotox/CHEMLIST.ASP">http://www.oehha.org/scripts/cal_ecotox/CHEMLIST.ASP</a>
EPA/ECOTOX Database		<a href="http://www.epa.gov/ecotox/">http://www.epa.gov/ecotox/</a>
EPA/IRIS (Integrated Information System)	Risk	<a href="http://www.epa.gov/iris/">http://www.epa.gov/iris/</a>
RAIS-Ecological Tool	Benchmark	<a href="http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/eco/ECO_select">http://risk.lsd.ornl.gov/cgi-bin/eco/ECO_select</a>
Toxicological Wildlife	Benchmarks for	Sample, BE, Opresko, D M y Suter II, G W (1996), <i>Toxicological Benchmarks for Wildlife: 1996 revision, ES/ER/TM-86/R3</i> , Risk Assessment Program, Health Sciences Research Division, Oak Ridge, Department of Energy, Office of Environmental Management, Estados Unidos de América.

### 3.3 Cálculo del peligro

En el caso de que recursos naturales sean afectados se determinará la vulnerabilidad de los recursos naturales a dichos contaminantes (anexo G).

La determinación del riesgo que representa(n) el (los) contaminante(s) crítico(s) sobre los organismos de las especies críticas podrá ser determinado a través del Índice de Peligro (IP). Para el cálculo de este índice se compara la dosis de exposición o concentración de exposición contra un VRT o DdR, dependiendo del grupo de organismos.

### 3.3.1 Flora terrestre

En el caso de la vegetación terrestre se considera que existe o que puede existir riesgo si para el sitio de estudio se determinaron índices referidos a alguna propiedad de la comunidad vegetal como por ejemplo la diversidad o la densidad relativa, que difieran de manera significativa y en sentido negativo de los índices encontrados en un sitio de referencia.

De ser este el caso entonces el evaluador hará un análisis de la información existente en cuanto a factores externos de perturbación, características geográficas, características topográficas, o de cualquier otro tipo que también pudieran estar teniendo un efecto adverso en la vegetación.

Si con el análisis se concluye que es posible que la diferencia en los índices de la comunidad evaluados efectivamente sea atribuible a la presencia de contaminantes, entonces el evaluador podrá realizar estudios más profundos como los que se indican a continuación:

- Bioensayos que relacionen al menos a una especie de flora del sitio con al menos uno de los contaminantes presentes en el sitio. Los bioensayos estarán encaminados a evaluar el efecto de las concentraciones de los contaminantes presentes en el sitio con alguna propiedad del desarrollo de las plantas como por ejemplo: biomasa, elongación radicular, germinación,
- Determinación en campo de la alteración de respuestas fisiológicas de especies vegetales a los contaminantes como por ejemplo: tasas fotosintéticas, captación de CO<sub>2</sub>, germinación, reproducción.



### 3.3.2 Fauna terrestre

$$CRE = \frac{DE_{i,m}}{VTR}$$

Donde:

CRE	Coficiente de riesgo ecológico	-
DE i,m	Dosis de Exposición de la Sustancia i en el Medio físico o tipo de alimento m	mg/Kg·d
VTR	Valor de Toxicidad de Referencia. En el caso de fauna terrestre son las denominadas dosis máximas de nivel de efecto adverso no observado (NOAEL por sus siglas en inglés)	mg/Kg·d

Si por alguna causa no se tiene sitio de referencia, se procederá directamente a realizar evaluaciones como se indica en los dos numerales anteriores o bien a determinar niveles de referencia base.

### 3.3.3 Biota acuática

$$CRE = \frac{CE_{i,m}}{VTR}$$

Donde:

CRE	Coeficiente de riesgo ecológico	-
CE <sub>i</sub>	Concentración de la Sustancia <i>i</i> en el agua a la que está expuesta el organismo	mg/L
VTR	Valor de toxicidad de referencia. En el caso de los organismos acuáticos son las Nivel de Efecto Adverso No Observado (Non Observed Adverse Effect Level)	mg/L



## 3.4 Estimación del riesgo

La estimación del riesgo se podrá hacer a través de los siguientes métodos:

### 3.4.1 Método determinístico

La caracterización del riesgo a través de este método se hace en dos etapas:

**Etapas 1:** Estimación del riesgo total de un contaminante para todos los medios físicos y para todas las vías de exposición, a través de la suma de los riesgos individuales de todas las vías de exposición.

**Etapas 2.** Estimación del riesgo total de todos los contaminantes críticos seleccionados, a través de la suma de los riesgos totales de cada contaminante crítico seleccionado.

### 3.4.2 Método probabilístico

La determinación probabilística del riesgo se hace al sustituir el valor determinístico de la dosis de exposición por una función. Las variables de la dosis de exposición como la tasa de ingestión, el factor de exposición o el peso corporal pueden también ser sustituidos por

funciones que describan la distribución probabilística de dichas variables en poblaciones de organismos.

Para obtener una serie numérica de resultados, se puede aplicar el método "Monte Carlo". Este método genera una distribución de valores para el coeficiente de riesgo ecológico (CRE), en lugar de un solo valor de riesgo y se expresa como la distribución probabilística del coeficiente de riesgo.

Para mayor información consulte  
"Guiding Principles for Monte Carlo Analysis", EPA/630/R-97/001, Marzo 1997



### **3.5 Modificación del modelo conceptual del sitio**

Es posible modificar el modelo conceptual del sitio después de la interpretación de los resultados obtenidos. En esta revisión es necesario tomar en cuenta: los organismos afectados, la toxicidad de mezclas, el comportamiento de los compuestos contaminantes, su movilidad en el ambiente, su mecanismo de transporte, las rutas de exposición completas que tengan una mayor importancia.

## **4. Discusión, conclusiones y recomendaciones**

### **4.1 Discusión de los resultados**

Para la discusión de los resultados, se sugiere considerar los siguientes aspectos:

- Hacer la discusión de los resultados en término de los organismos, poblaciones, comunidades y ecosistema expuestos. La severidad del efecto será considerada tomando en cuenta la concentración de los contaminantes, la frecuencia de la exposición y la toxicidad,
- Discusión de las incertidumbres y las diferencias entre los resultados de los bioensayos seleccionados y los resultados de las pruebas de campo,
- Comparar los resultados de los bioensayos con los resultados obtenidos en especies nativas,

- Comparar la duración de la exposición contra la duración de los efectos y señalar la ocurrencia de alguna inducción de resistencia, de recuperación y de adaptación de los organismos estudiados al medio contaminado,
- Discusión de la posible reversibilidad del daño ecológico y/o su potencial agravamiento en caso de no introducir acciones correctivas,
- Serán necesarios emplear la información toxicológica disponible, incluyendo información toxicocinética y toxicodinámica, con el fin de interpretar los resultados de la caracterización del riesgo,
- Se requiere que las conclusiones incluyan las posibles consecuencias por la mezcla de contaminantes, ya sea adición o potenciación (efectos sinérgicos) de su toxicidad,
- Es necesario incluir en la interpretación de los resultados, la descripción de las incertidumbres, suposiciones y premisas aplicadas en la evaluación de riesgo,
- En la evaluación de las incertidumbres puede aplicarse también un método probabilístico para determinar los márgenes, intervalos y distribuciones de riesgos, lo cual puede dar mayor certeza al estudio.

En este punto se integrarán todos los datos a fin de responder a la pregunta:

**¿El sitio representa un riesgo para la biota?**

La respuesta debe darse con la información del estudio y con toda la evidencia que pueda obtenerse de la literatura científica.

En caso de que exista un riesgo en el sitio, entonces los investigadores será necesario contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la magnitud del riesgo encontrado?
2. ¿El sitio requiere ser remediado a fin de reducir el riesgo?
3. ¿En caso de no se remedie el sitio puede incrementarse el riesgo?
4. ¿En caso de no remediarse puede extenderse el riesgo a otras zonas?
5. ¿Existe alguna acción que la comunidad pueda tomar para disminuir el riesgo?
6. ¿En la comunidad existen profesionistas que pueden atender o vigilar la problemática identificada?

El investigador deberá identificar las acciones ecológicas, o educativas que pudieran ser útiles para disminuir el riesgo.

El Estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental debe concluir con una evaluación de las evidencias de los efectos en el sitio debidos a la contaminación y de la información que se haya generado. En este sentido, es bueno recordar que la presente guía debe ser considerada como un instrumento que permite: (a) la evaluación preliminar en los casos en los cuales no existen la información necesaria para efectuar un estudio a mayor profundidad o (b) la evaluación completa cuando así se requiera.

Con la información obtenida, el investigador podrá elaborar un modelo definitivo del sitio e identificará las rutas y vías de exposición de mayor riesgo. Es muy importante determinar la

correspondencia entre los medio más contaminados y aquellos que hayan representado un mayor riesgo para los seres vivos.

Por último, es muy importante que se discutan las preocupaciones de las poblaciones del sitio contaminado que hayan sido colectadas durante la visita. Se recomienda el discutir resultados del estudio con la población afectada.

## **4.2 Conclusiones**

Se recomienda que las conclusiones den énfasis principalmente en los siguientes puntos:

- En el caso de estudios donde es posible el cálculo de índices de peligro, la descripción de los efectos actuales y futuros por la exposición a los contaminantes de interés sobre los recursos naturales, las poblaciones de organismos expuestos y en su caso a los ecosistemas. Se entenderá como efectos futuros la situación una vez que se realizan las acciones de remediación y ocurre el cambio de uso del sitio,
- Descripción sobre los probables riesgos y los factores que deben ser estudiados y medidos a fin de reducir el riesgo, en caso de los estudios realizados en base al nivel de evaluación 1, donde no se tiene la información necesaria para obtener valores de riesgo sobre la situación particular de sitio,
- Descripción de los resultados de cualquier análisis, determinación o prueba con respecto de los efectos ya observados en los organismos expuestos,
- Descripción de los efectos que sobre la caracterización del riesgo o sobre las conclusiones del estudio podrían contener insuficiente información, o
- Indicación de la necesidad de acciones de remediación por la existencia de riesgo en las especies críticas por la exposición a los contaminantes críticos.

Se recomienda que cada conclusión del estudio sea acompañada de una recomendación.

## **4.3 Recomendaciones**

Con base en la caracterización del riesgo serán necesarias recomendaciones para:

- Eliminar o reducir la exposición incluyendo las acciones de remediación,
- Caracterizar la zona de estudio y sugerir actividades para dar seguimiento a los problemas identificados,
- Sugerir actividades para monitorear el comportamiento de los contaminantes en caso de no recomendar su remoción en el sitio.

Todas las recomendaciones son de numerarse y definir el tiempo en el cual se deberán aplicar (por ejemplo clasificadas por inmediatas, corto, mediano, largo plazo o en un diagrama de barras por mes, trimestre, año).

Cada recomendación es de correlacionarse con cada una de las conclusiones de la sección anterior. Las recomendaciones, deberán ser seguidas de la propuesta de acciones que lleven a prevenir o a reducir la exposición.

Es de recomendarse la obtención de la información faltante cuando los datos ambientales o de otro tipo sean insuficientes para evaluar los riesgos en los recursos naturales y poblaciones

vulnerables. El tipo de información que sea requerida y la fuente de la que pueda ser obtenida son de identificarse y señalarse, por ejemplo en caso de que se requieran muestreos, tendrá que establecerse el lugar preciso que deba ser muestreado, que permisos deben recabarse 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.

## 5. Herramientas para la determinación de efectos adversos en el escenario ecológico

Para estudios de riesgo ambiental será necesario el uso de herramientas y métodos especializados cuando los sitios contaminados estén localizados en alguna de las siguientes áreas:

- Áreas naturales protegidas,
- Ecosistemas sensibles con alto valor ambiental,
- Áreas con especies vegetales y animales de alto valor ecológico,
- Áreas con especies protegidas por la legislación vigente, o
- Cuando el nivel de estudio adecuado sea el 2 o 3.

En el caso de que en el sitio existan especies vegetales o animales sujetas a algún estatus especial de protección, será necesario establecer la magnitud de la exposición en estas especies y tener conocimientos aproximados del efecto de los contaminantes en las especies más expuestas.

Relacionando la información sobre la exposición y la toxicidad de los contaminantes críticos, se podrán identificar a las especies en riesgo y se podrá definir la magnitud del riesgo asociado con el sitio contaminado.



### 5.1. Evaluación de biomarcadores

Actualmente, ha recibido mucha importancia el uso de herramientas como la evaluación de biomarcadores de exposición y de efecto para valorar el impacto de la contaminación *in situ*.

Los biomarcadores permiten la evaluación a nivel sub-organismo (por ejemplo a nivel molecular, celular), organismo (por ejemplo a nivel fisiológico, conductual) y supra-organismo (por ejemplo a nivel de población) del efecto adverso de contaminantes y otros factores de estrés

ambientales, dando cuenta a su vez de la severidad del efecto y/o de los mecanismos de acción tóxica involucrados.

De manera general, los biomarcadores son usados para obtener información respecto a los siguientes aspectos:

1. Ayudar e establecer relaciones entre causa (tipo y dosis o concentración del contaminante) y efecto (respuesta biológica),
2. Indicar la presencia o ausencia de grupos específicos de contaminantes,
3. Dar respuesta temprana de “aviso” del efecto de contaminantes y predecir los efectos a niveles mayores de organización biológica (esquema 3),
4. Establecer la ausencia de efectos biológicos o ecológicos significativos en las poblaciones, comunidades y ecosistemas,
5. Como una señal para monitorear si se han excedido los umbrales fisiológicos o los límites de tolerancia.



### 5.1.1 Consideraciones para el uso de biomarcadores

- **Especie:** el organismo deberá ser nativo y representativo del área de estudio. No deberán ser organismos de especies raras,
- **Tipo de biomarcador:** se sugiere elegir un grupo jerárquico de biomarcadores, los de fácil medición, rentables y generales para evaluar una mayor cantidad de zonas en el sitio de estudio,
- **Sensibilidad:** que sean altamente sensibles para identificar de manera rápida los cambios por la exposición,
- **Tipo de información** que generan: algunos biomarcadores son indicadores de carácter general y solo sugieren la presencia de estrés en la población, otros dan información sobre el grado de afectación de un contaminante sobre una población,
- **Aplicabilidad:** para el monitoreo de la salud del ambiente y que permita evaluar los resultados del estudio de evaluación de riesgo y las acciones de mitigación de éste. Los biomarcadores deberán proporcionar información necesaria sobre el nivel y

diversidad de respuestas biológicas que sirvan como evidencia de efecto de las especies críticas en el proceso de evaluación de riesgo,

- **Otras consideraciones:** especificidad biológica, especificidad química, claridad en la interpretación, tiempo de la manifestación del efecto, permanencia de la respuesta, variabilidad inherente (confiabilidad), acoplamiento a efectos de un nivel más alto, aplicabilidad a las condiciones de campo, validación en el campo, consideraciones metodológicas, estado de la utilidad del método, método de muestreo y análisis.

## 5.1.2 Tipos de biomarcadores

### Biomarcadores de exposición

Los biomarcadores de exposición son respuestas biológicas que integran las propiedades fisicoquímicas del compuesto tóxico y su toxicocinética en el organismo; es decir, reflejan que el organismo está o ha estado expuesto a compuestos particulares dando cuenta de la biodisponibilidad de los tóxicos.

#### Ventajas:

- Indican la naturaleza química del tóxico y su mecanismo de acción,
- Relativamente bajas concentraciones de los tóxicos inducen las respuestas,
- Reflejan una relación de dosis/concentración – efecto,
- Respuesta rápida al agente estresante o contaminante,
- Evaluación relativamente rápida.

#### Desventajas:

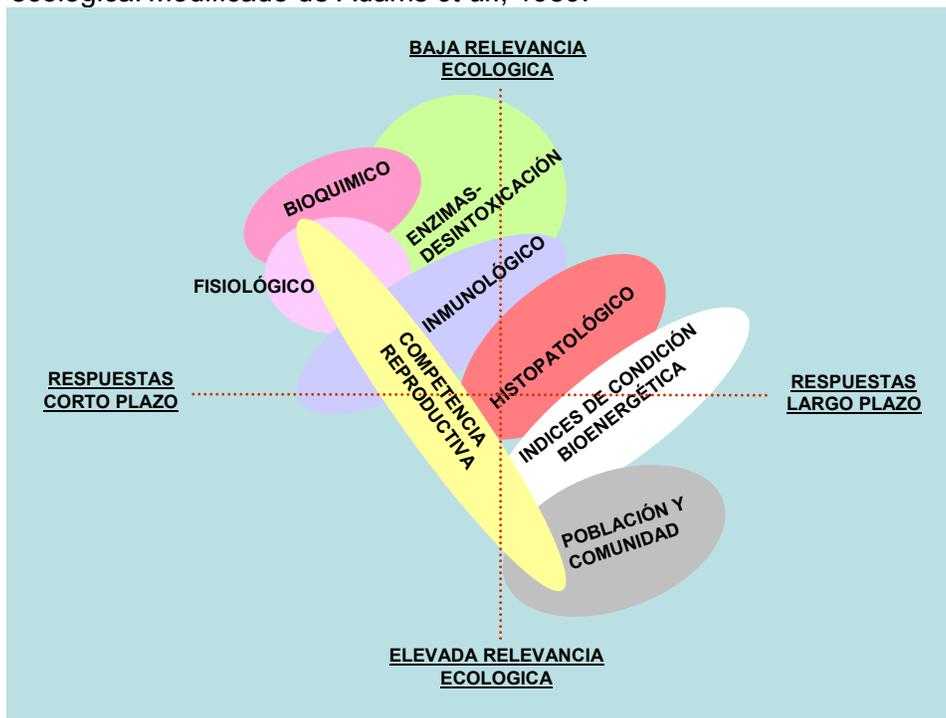
- Factores abióticos y bióticos (por ejemplo, condición reproductiva) modifican las respuestas,
- Se desconocen en muchos casos los patrones y funciones básicas de las respuestas,
- Se desconoce el significado biológico de muchos de los cambios en las respuestas,
- Se desconoce en muchos casos la implicación de los efectos a nivel organismo y supra-organismo.

### Biomarcadores de efecto

Los biomarcadores de efecto son respuestas moleculares, bioquímicas, celulares o fisiológicas de un organismo y que son indicativas del efecto tóxico de los contaminantes. Algunos de estos biomarcadores señalan solamente el estado de un proceso que puede ser o no reversible, dependiendo de la duración e intensidad de la exposición (esquema 4).

Los efectos de los contaminantes o tóxicos ambientales se manifiestan en niveles bajos de organización biológica (sub-organismo, organismo) antes de que las alteraciones ocurran a nivel de comunidades y ecosistemas. Se propone que el proceso del efecto de los contaminantes es:

**Esquema 4.** Respuestas biológicas de los organismos a los contaminantes y su relación con el tiempo de respuesta y su relevancia ecológica. Modificado de Adams *et al.*, 1989.



Con autorización de la Dra. Cecilia Vanegas. Facultad de Ciencias, UNAM.

1. Los efectos iniciales ocurren a nivel molecular y bioquímico con la inducción de mecanismos de defensa celular, pero si éstas fallan,
2. Pueden ocurrir daños que pueden ocasionar alteraciones histopatológicas o fisiológicas las cuales pueden no ser reversibles dependiendo del nivel del daño,
3. Si los procesos anteriores son permanentemente afectados, el desarrollo, el crecimiento, la reproducción y/o la sobrevivencia pueden verse afectados alterando la estructura y la función de las poblaciones y las comunidades y por ende del ecosistema,
4. De acuerdo a lo anterior, los biomarcadores de efecto pueden ser medidos a diferentes niveles de organización biológica. Debido a la relación potencial entre las respuestas biológicas a nivel suborganismo, organismo y supra-organismo, es necesario que se considere la selección y evaluación integral de un conjunto de biomarcadores que puedan establecer relaciones de causalidad, como por ejemplo, marcadores a nivel bioquímico – fisiológico - poblacional.

Es importante considerar los siguientes aspectos:

- El efecto en algunos de estos indicadores es inespecífico, es decir, la respuesta no es originada únicamente por un solo tipo de contaminante. Biomarcadores de un nivel bajo de organización biológica son, por ejemplo: bioquímicos y celulares (esquema 3).

- Algunos de ellos, no son indicativos del estado de salud global del organismo ya que en ellos no se consideran mecanismos que compensen la acción negativa de los contaminantes. Ejemplo de biomarcadores integrales son los fisiológicos como el crecimiento y la reproducción, la cual tiene incidencia a nivel poblacional,
- Es importante considerar respuestas que tengan incidencia a nivel poblacional o de comunidad.

#### **Ventajas:**

- Importantes para establecer efectos adversos en un intervalo amplio de condiciones ambientales cuando se desconoce la naturaleza exacta del tóxico o cuando están involucrados agentes de estrés múltiples o contaminantes múltiples,
- Las respuestas no-específicas pueden ser particularmente sensibles al efecto de tóxicos en una relación dosis/concentración – respuesta,
- Son de gran valor cuando se ha identificado la naturaleza química del(os) contaminantes,
- Respuestas integrales (por ejemplo, disfunción reproductiva; disfunción bioenergética) aportan información de efectos a largo plazo y de implicación a nivel de poblaciones y comunidades,
- Aporta información de las consecuencias biológicas y ecológicas de la exposición crónica a agentes de estrés múltiples.

#### **Desventajas:**

- No proveen información de la naturaleza química del agente de estrés,
- En numerosos casos se desconocen los procesos de compensación/adaptación involucrados,
- Cambios en respuestas individuales no implican necesariamente disfunción del organismo,
- Su evaluación y obtención de respuestas requiere de mucho tiempo (semanas - meses).

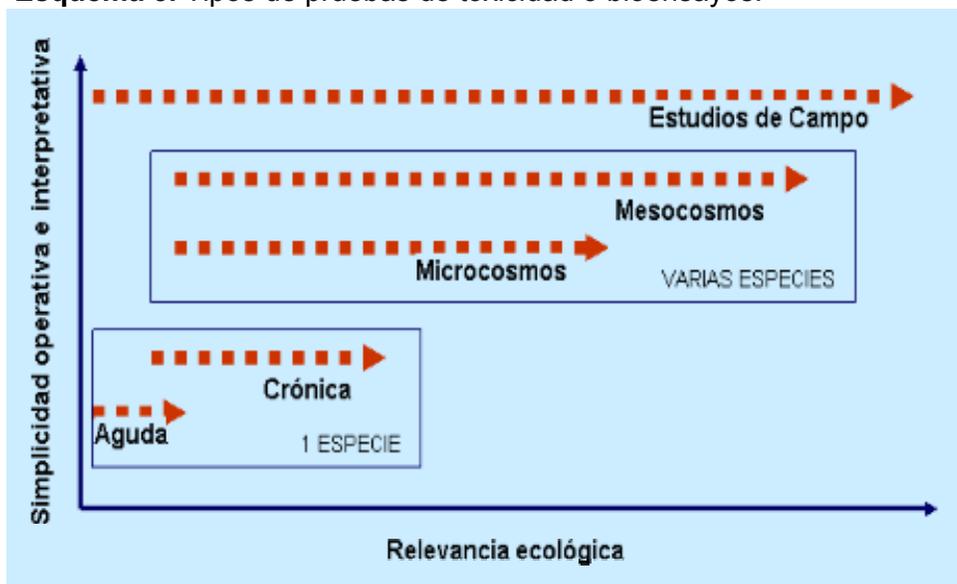
## **5.2 Índices bióticos**

Además de los efectos a nivel individual, en algunos sitios será muy importante la evaluación de los efectos a un mayor nivel de organización, para lo cual, una de las herramientas más utilizadas es el estudio de diversos índices bióticos.

Ejemplos de índices: Índice de riqueza de especies, índice de diversidad, Índice de equitatividad, índice de similitud, índices de integridad biótica, coeficientes de riesgo ecológico u otros aplicables.

## **5.3 Bioensayos de toxicidad**

Con los bioensayos en laboratorio se puede establecer una relación causa-efecto, la cual no puede ser obtenida en un estudio realizado en campo. Los tipos de bioensayos y su relación con la relevancia ecológica de los resultados están indicados en el esquema 5.

**Esquema 5.** Tipos de pruebas de toxicidad o bioensayos.

Con autorización de la Dra. Cecilia Vanegas. Facultad de Ciencias, UNAM.

### Ventajas:

- Son útiles para evaluar los efectos de toxicidad de un contaminante o de una mezcla de contaminantes,
- Pueden ser rápidos y de bajo costo.

### Desventajas

- Dependiendo de su complejidad, pueden no estar considerando el complejo de los factores ambientales que interactúan y determinan los efectos sobre los organismos expuestos,
- Resulta difícil adaptar los métodos estandarizados para especies silvestres por dificultades técnicas (por ejemplo, germinación de semillas, tiempo de desarrollo de plantas).

En la ejecución de las pruebas de toxicidad o bioensayos es necesario que sean considerados: los organismos de especies críticas elegidos según el estudio de caracterización del sitio y que los resultados de las pruebas elegidas reflejen el probable efecto de los contaminantes sobre los organismos en el sitio.

Los organismos silvestres pueden reflejar la exposición a factores de estrés físicos o químicos a través de diferentes vías, incluyendo la transferencia a través de la cadena alimenticia, sobre todo cuando se encuentran expuestos de manera crónica. Así también, los efectos observados pueden ser el reflejo de la exposición a mezclas de contaminantes y característicos de un sitio específico.

### Proyecto INE – UAM-I sobre Bioensayos

Titulo "Informe final: pruebas biológicas para la evaluación ecotoxicológica de sustancias químicas", Octubre 2005. Editoras: Ania Mendoza Cantú y Patricia Ramírez. Disponible en la página Web del INE o amendoza@ine.gob.mx

#### **5.4 Caracterización del riesgo para las especies de interés**

Cuando existan especies de interés, el estudio de caracterización de riesgo debe responder a las siguientes preguntas:

1. ¿Existe riesgo ecológico?
2. ¿Están los contaminantes biodisponibles para los organismos?
3. ¿Existen evidencias de ecotoxicidad?
4. ¿Cuáles son los puntos que presentaron mayor ecotoxicidad?
5. ¿Se identificó algún componente de la biota que estuviere particularmente en mayor riesgo?
6. ¿Se demostró la presencia de otros factores de estrés el sitio?

#### **5.5 Ajuste del modelo conceptual del sitio**

Con los resultados obtenidos y su interpretación puede modificarse el modelo conceptual del sitio que se elaboró y modificó durante el proceso de caracterización del riesgo.

Nota: Fotos obtenidas de archivo GTZ, del M. en C. Víctor López Gómez y de la Dra. Cecilia Vanegas.

---

---

# Índice

<b>1. Antecedentes generales e información relevante del sitio</b>	<b>110</b>
1.1 Estudio histórico del sitio	110
1.2 Descripción del sitio	111
1.3 Información geográfica relevante	113
1.4 Descripción general de los recursos naturales en el sitio	114
1.5 Visita al Sitio (entorno físico)	114
1.6 Evaluación de la información	115
1.7 Determinación de las necesidades de información complementaria	115
<b>2. Definición del problema</b>	<b>115</b>
2.1 Determinación de contaminantes o componentes de contaminantes críticos	116
2.2 Descripción del escenario humano	117
2.2.1 Áreas de Recreación	118
2.2.2 Espacios Educativos	118
2.2.3 Vulnerabilidad de la Comunidad	118
2.2.4 Fuentes de Alimentos	119
2.2.5 Aspectos Migratorios	119
2.2.6 Preocupaciones de la Comunidad	119
2.3 Mapeo de la Información	119
2.4 Modelo Preliminar del Sitio	119
<b>3. Caracterización de la Exposición</b>	<b>120</b>
3.1 Determinación y evaluación de las rutas y vías de exposición	120
3.2 Determinación de la exposición	121
3.2.1 Estimación de la exposición (método determinístico)	122
a Vía de exposición dérmica	122
b Vía de exposición por inhalación	123
c Vía de exposición oral	125
3.2.2 Estimación de la Exposición (método probabilístico)	125
<b>4. Caracterización del Riesgo</b>	<b>126</b>
4.1 Caracterización del Riesgo Cancerígeno	126
4.1.1 Método determinístico	126
4.1.2 Método probabilística	127
4.2 Caracterización del Riesgo NO Cancerígeno	127
4.2.1 Método determinístico	127
4.2.2 Método probabilística	128
4.3 Factores Asociados al Riesgo	128
4.4 Caracterización del riesgo escenario humano	128
4.5 Análisis Final	130
4.6 Toxicidad por Mezclas Químicas	130
4.7 Modificación del Modelo Conceptual del Sitio	130
<b>5. Herramientas para la evaluación de efectos en humanos</b>	<b>131</b>
5.1 Biomarcadores de exposición y efecto en humanos	132
5.2 Las consideraciones para el uso de biomarcadores	132
<b>6 Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>133</b>
6.1 Conclusiones	133
6.2 Recomendaciones	134

---

## ANEXO 2

### **Método para la elaboración de estudios de evaluación de riesgo ambiental de sitios contaminados cuando entre los receptores se encuentran seres humanos.**

El objetivo de este anexo metodológico es determinar el tipo de acciones de remediación a realizar en sitios contaminados afectados o dañados por materiales peligrosos o residuos peligrosos.

El campo de aplicación de esta guía es la caracterización del riesgo en sitios contaminados en donde además de ser afectados recursos naturales biológicos y no biológicos como lo son el suelo y cuerpos de agua, seres humanos son receptores potenciales de la contaminación.

La aplicación de este anexo se puede dar en cualquiera de los niveles de estudio referidos por esta guía.

#### **1. Antecedentes generales e información relevante del sitio**

##### **1.1 Estudio histórico del sitio**

Preguntas clave que ayuden en la reconstrucción histórica de los eventos de la contaminación y la descripción de la situación jurídica del sitio están indicadas en el cuadro 1.

En una tabla puede ser presentada la información de los antecedentes de la contaminación en el sitio, en donde se incluyan los siguientes datos:

- Eventos de la contaminación en orden cronológico indicando la fecha del suceso, la fuente de información y comentarios,
- Inicio de las operaciones del proceso contaminante o de las actividades que condujeron a la contaminación,
- Incluir un catálogo de los documentos consultados.

Las siguientes fuentes pueden ser consultadas para recabar la información histórica de un sitio contaminado:

1. Fuentes documentales disponibles: instituciones y oficinas gubernamentales a nivel estatal, y municipal para la obtención de los registros de agua, electricidad y drenaje, registro público de la propiedad. Otras fuentes documentales son el INEGI, la CFE, la CONAGUA.
2. Fuentes documentales no oficiales: universidades, consultorías privadas, periódicos, revistas, registros de la empresa contaminadora de los eventos significativos ocurridos en el lugar que tengan relación con su contaminación, expedientes y registros de la empresa, autorizaciones de construcción, permisos de descarga u otros.

- Fuentes no documentales válidas, por ejemplo: entrevistas a ex trabajadores y pobladores del sitio, empleados municipales.

**Cuadro 1.** Preguntas clave sobre los antecedentes de la contaminación en el sitio de interés.

**Registro histórico de la contaminación:**

- ¿Cuál fue el origen de la contaminación?
- ¿Desde cuándo existe la contaminación en el sitio?
- ¿La contaminación ha sido siempre la misma?
- ¿Cuándo se iniciaron las operaciones de la fuente contaminante?
- En el caso de las actividades contaminantes intermitentes ¿Desde que periodo sucedió la contaminación?
- ¿Qué eventos relevantes sucedieron desde el inicio de operación y/o de la contaminación?
- ¿Que actividades humanas se desarrollaron cuando se originó la contaminación?
- ¿Qué acontecimientos determinan el tipo de exposición a los contaminantes del sitio?
- ¿Se han realizado acciones para remediar la contaminación?

**Preguntas sobre la situación jurídica del sitio contaminado:**

- ¿Quién es el o los dueños actuales del predio (sitio) contaminado?
- ¿Quién fue el o los dueños del predio (sitio) al momento de la contaminación?
- ¿Hay litigios o juicios con respecto al predio (sitio)?

## 1.2 Descripción del sitio

La descripción del sitio contendrá la siguiente información:

- Nombre del sitio:** nombre oficial y denominación popular.
- Ubicación del sitio:** dirección postal (estado, municipio, delegación, población, código postal, colonia, calle y número), coordenadas geo-referenciadas, colindancias, mapa de localización, lugares de referencia.





3. **Área del predio, área contaminada.**

4. **Tipo de sitio:** descripción lo más cercano a la realidad y de acuerdo a las siguientes clasificaciones:

**Por actividad:**

**a. Disposición de residuos:** por ejemplo, depósito no controlado, relleno de residuos, relleno sanitario, sitios de disposición controlada y tiraderos a cielo abierto.

**b. Área industrial:** instalaciones en las cuales se producen, manejan, almacenan y transportan materiales peligrosos y residuos peligrosos, empleados en procesos productivos, por ejemplo: instalación de producción de químicos, curtiduría.

**c. Áreas de extracción y manejo de petróleo y derivados:** refinерías, estaciones de transferencia de diesel, combustóleo y turbosina, estaciones de gasolina y diesel, módulos de mantenimiento de transporte colectivo, estaciones de autobuses, gaseras y otros sitios semejantes como son Terminal de almacenamiento y distribución (TAD) y campos de explotación.

**d. Áreas mineras:** predios y sitios donde se realizan actividades como la molienda de mineral, fundidoras y áreas afectadas por las emisiones de las chimeneas, jales mineros, graseros de escorias, minas a cielo abierto o cerradas.

**e. Áreas agrícolas de aplicación de herbicidas y plaguicidas:** predios y superficies con actividad agrícola donde se han aplicado estos productos y donde se registren concentraciones lo suficientemente altas y que representen un riesgo potencial. También se considerarán aquellos lugares donde la aplicación de plaguicidas sea con fines sanitarios.

**f. Accidentes (emergencias ambientales):** corresponde al predio donde ocurrió la emergencia ambiental y al área afectada por el derrame o fuga de materiales o residuos peligrosos. Las emergencias ambientales también incluyen a los incendios, las catástrofes naturales como son las inundaciones, el derrame de hidrocarburos a zonas costeras por naufragios marinos, los cuales pueden representar un daño a largo plazo para el medio ambiente.

**g. Área comercial:** predios y áreas donde se manejan, almacenan y transportan residuos sujetos a planes de manejo y otros susceptibles de causar contaminación.

---

**h. Otros tipos:** se incluyen aquellos predios y sitios donde ocurren cambios negativos del suelo por actividades económicas, por ejemplo: ladrilleras clandestinas, depósitos clandestinos de residuos para la construcción, pozos cerrados de extracción de hidrocarburos.

**Clasificación por componentes ambientales involucrados:**

- Tipo de ecosistema y hábitat por ejemplo: bosque, estero, laguna.
  - Tipo de ambiente: acuático, terrestre, marino, aéreo o una combinación de las anteriores.
  - Tipo de matrices afectadas: agua, suelo, aire.
5. **Tóxicos presentes en el sitio:** nombre de los tóxicos presentes en el sitio. Indicar si la fuente de información es oficial o en caso contrario reportar su ausencia. Nombrar también aquellos compuestos que presumiblemente se encuentran en el sitio.
6. **Origen de la contaminación y proceso contaminante:**
- Fuente contaminante principal y/o secundaria
  - Procesos que originaron la contaminación en el sitio
  - Matrices o medios físicos que son o fueron afectados por la contaminación
7. **Exposición humana a los contaminantes del sitio:** Temporalidad y características de la exposición humana a los contaminantes dependiendo a las actividades que se realizan en el sitio (económicas, recreativas, etc.).
8. **Barreras de acceso:** Tipos y descripción de las restricciones que impidan el ingreso al sitio. Indicar la facilidad de acceso al sitio.



### 1.3. Información geográfica relevante

1. **Terreno:** Información topográfica del sitio.
2. **Suelo:** Tipo de suelo y datos sobre la cubierta vegetal.
3. **Cuerpos de agua superficial:**
  - Tipo de cuerpo de agua, por ejemplo: arroyo intermitente, zona costera, laguna, esteros, estuarios, manglares, río, lago,
  - Uso,
  - Presencia y tipo de descargas, por ejemplo: industriales, agrícolas, urbanas,

- Antecedentes sobre inundaciones en los últimos años.
4. **Cuerpos de agua subterránea:**
- Clasificación del acuífero, por ejemplo: no confinado, semi-confinado o confinado,
  - Dirección de flujo del cuerpo de agua subterránea,
  - Antigüedad, localización, profundidad y usos de los pozos ubicados en la región.
5. **Datos Meteorológicos Relevantes:**
- Precipitación pluvial:
    - Promedio, máximos y mínimos anuales,
    - Promedio en época de lluvia y en época de estiaje,
    - Promedio, máximos y mínimos mensuales,
    - Promedios diarios (en caso de existir),
  - Temperatura: promedio mensual, anual y en época de frío y época de calor,
  - Vientos: dirección, cambio de dirección y velocidad en temporada de lluvia (junio-octubre) y en temporada de estiaje (noviembre-mayo).
6. **Otros datos** relevantes del sitio.



#### 1.4 Descripción general de los recursos naturales en el sitio

Dependiendo del caso se incluye en la descripción sitio lo siguiente:

- La flora y la fauna del sitio.
- Los recursos naturales en el sitio.
- Los ecosistemas en el sitio.
- Las poblaciones humanas potencialmente o posiblemente afectadas en el sitio.

#### 1.5 Visita al Sitio (entorno físico)

La información documental de los puntos anteriores deberá ser completada a través de una visita al sitio, durante la cual se registran los aspectos físicos del sitio. El registro de la visita al sitio se acompaña de un registro fotográfico de todos los aspectos encontrados en el sitio y que posteriormente serán considerados durante la evaluación de riesgo.

## 1.6 Evaluación de la información

La información contenida en los estudios de caracterización y en el estudio histórico deberá ser evaluada por rutas de exposición y de acuerdo a las necesidades del estudio de evaluación de riesgo ambiental. Se evaluará la presencia y consistencia de los datos y resultados de muestreos por ruta de exposición, por ejemplo:

- Suelo – Organismos
- Agua – Organismos
- Suelo – Agua – Organismos
- Suelo – Vapores – Organismos
- Suelo - Polvos – Organismos

Es de remarcar que cada ruta de exposición requiere de muestreos, análisis y pruebas de diversa índole, por ejemplo para determinar polvos solo se muestran los primeros 5 cm del suelo o solo se toman muestras de polvos en superficies de casa habitación [muestra/m<sup>2</sup>].

## 1.7 Determinación de las necesidades de información complementaria

Una vez realizada la evaluación se deberá plantear si es necesaria una caracterización o muestreo adicional en orden de obtener información por rutas de exposición no muestreadas o para dilucidar aspectos específicos en la migración de contaminantes en un medio o de un medio físico a otro. En este caso se deberá elaborar un plan de muestreo específico.

Una caracterización complementaria deberá estar orientada a las rutas y vías de exposición, a los puntos de exposición y a las poblaciones receptoras o los recursos que puedan ser afectados, esto con el fin de obtener la información necesaria para llevar a cabo la evaluación de riesgo.

## 2. Definición del problema

La definición y formulación del problema se basa en la evaluación de la información contenida en el estudio de caracterización, en el estudio histórico y otros estudios disponibles. La definición de problema incluye la descripción del sitio y otra información pertinente a juicio del que realiza el estudio de riesgo ambiental.



## 2.1 Determinación de contaminantes o componentes de contaminantes críticos

En los sitios contaminados generalmente existe una gran variedad de sustancias o compuestos tóxicos. Sin embargo, debido a los altos costos en tiempo y dinero que esto implica, es imposible poder evaluar la totalidad ellos. Por esta razón debe hacerse una selección de los contaminantes que serán los evaluados, y que serán denominados como contaminantes críticos (CC).

En la selección de contaminantes críticos se considera el siguiente proceso de selección:

1. Comparar las concentraciones máximas de contaminantes presentes en las matrices afectadas (agua, suelo y sedimentos) con las concentraciones de fondo. La selección de los contaminantes de acuerdo a sus concentraciones en el sitio se hará a través de los siguientes criterios:
  - Se eliminarán del estudio de riesgo aquellos contaminantes cuya concentración en las matrices sean menores o iguales a las concentraciones de fondo,
  - Serán considerados como contaminantes críticos aquellos cuyas concentraciones sean superiores a las concentraciones de fondo. Los contaminantes que cumplan con esta característica deberán continuar con los pasos de selección indicados en el paso 2 y 3.



2. Comparación de la concentración de los contaminantes presentes en el sitio con las concentraciones de una tabla de valores de referencia.

Comparar las concentraciones de contaminantes presentes en las matrices afectadas (agua, suelo y sedimentos) con las Concentraciones de Referencia o Límites Máximos Permisibles.

Se podrán considerar como Concentraciones de Referencia aquellas indicadas en las siguientes fuentes:

- Normas Oficiales Mexicanas como por ejemplo hidrocarburos o metales pesados,
- Tabla de valores de referencia de US-EPA por ejemplo los Niveles de Remediación Preliminares (PRG's por sus siglas en ingles) de región 9,
- En su defecto concentraciones calculadas ex profeso para su comparación con las concentraciones de los contaminantes.

Criterio de selección de acuerdo a las Concentraciones de Referencia:

- Se eliminarán de la evaluación aquellos contaminantes cuyas concentraciones en los medios sean menores o iguales a las concentraciones de referencia ecológica,
- Se consideran como contaminantes críticos aquellos contaminantes cuyas concentraciones sean superiores a las concentraciones de referencia ecológica.

El resto de los contaminantes deberán seguir el proceso de selección que se indica en el paso 3.

3. Los contaminantes no considerados inicialmente para la evaluación de riesgo con base en los criterios anteriores se revisaran con base en los siguientes aspectos o características:

- Información histórica,
- Toxicidad, movilidad, persistencia y bioacumulación,
- Rutas de exposición específicas,
- Problemas de tratabilidad de la sustancia,
- Toxicidad equivalente de la clase de químicos por ejemplo CDD/CDF's HPA's,
- Frecuencia de detección,
- Importancia de la sustancia,
- Comparación con concentraciones de fondo.

Criterio de selección de acuerdo a las Concentraciones de Referencia:

- Si algún contaminante presenta varias características, se deberá considerar para la evaluación de riesgo.



## 2.2 Descripción del escenario humano

1. **Información demográfica:** se define por la magnitud de la población expuesta, para ello se establece la distribución por edades, sexo y grupos étnicos.
  2. **Vivienda:** tipo de vivienda (material de construcción, tipo de piso, tipo de calles, asfaltadas o no asfaltadas), localización del área residencial con respecto a la fuente (distancia, vientos dominantes, etc.), antigüedad del área residencial, proyectos de crecimiento del área residencial.
  3. **Patrones de comportamiento en el interior de la vivienda.**
-

4. **Presencia de contaminantes en interiores:** por ejemplo, fumigación con insecticidas, leña para la cocción de alimentos.
5. **Localización del dormitorio y del área de preparación de alimentos.**
6. **Presencia de industria familiar:** por ejemplo, carpinterías, ladrilleras, invernaderos.
7. **Otros**

### 2.2.1 Áreas de recreación

En la descripción del escenario humano se incluyen señalamientos acerca de:

- Áreas donde juegan los niños,
- Material con el cual están contruidos los juegos,
- Tipo de piso del área de recreación,
- Localización del área con respecto a la fuente,
- Antigüedad del área,
- Eventos de restauración en el área,
- Frecuencia de juego.

### 2.2.2 Espacios educativos

En la descripción del escenario humano se incluyen señalamientos acerca de:

- **Construcción:** Tipo de construcción, tipo material de construcción, tipo de piso, tipo de calles, asfaltadas o no asfaltadas, localización del área educacional con respecto a la fuente por ejemplo distancia, colocación con respecto a los vientos dominantes, antigüedad del área educacional,
- **Patrones de comportamiento** en el interior del área,
- **Acceso:** Trayectos usados para acceder a estos espacios de educación.



### 2.2.3 Vulnerabilidad de la comunidad

Un aspecto que se incluye en la descripción del entorno humano son los factores que pudieran incrementar la exposición a las sustancias químicas o que pudieran aumentar el número de tóxicos a los cuales pudieran estar expuestos los individuos de la comunidad por ejemplo: nivel

---

socioeconómico, nivel académico, acceso a drenaje y agua potable, acceso a servicios médicos, consanguinidad.

### **2.2.4 Fuentes de alimentos**

El establecer que tipo de contaminante esta presente en alimentos o utensilios de cocina es importante para evaluar si existe la probabilidad de que algún alimento, así como cualquier utensilio que se utilice para manejarlo o cocinarlo pueda contener los contaminantes críticos a evaluar.

### **2.2.5 Aspectos migratorios**

El establecer que si se da un flujo migratorio en el sitio puede indicar si se dan diferentes patrones de exposición, al permitir el posible contacto contaminantes críticos contenidos en materiales o productos traídos por los inmigrantes.



### **2.2.6 Preocupaciones de la comunidad**

La interacción con la comunidad es clave para el buen desarrollo del estudio. Un listado de las preocupaciones comunitarias relacionadas con el sitio, en materia de contaminación, salud y estrategias de limpieza puede ser de gran utilidad para la determinación de las acciones de remediación una vez que se ha caracterizado el riesgo.

## **2.3 Mapeo de la información**

La aplicación de un sistema de información geográfica del sitio representa una ventaja en la comunicación de riesgos y en la visualización de las áreas y poblaciones afectadas. En dichos sistemas se introducen las informaciones puntuales relativas a la contaminación y las relativas a la localización del sitio en conjunto con las poblaciones más cercanas y las de más alto riesgo.

## **2.4 Modelo preliminar del sitio**

Existen diferentes maneras de elaborar un modelo preliminar del sitio, puede ser una descripción gráfica o una descripción esquemática de la relación entre la fuente de la contaminación y los receptores vulnerables potenciales las cuales van acompañadas de descripciones escritas.

El modelo conceptual incluye:

- Fuente de los contaminantes críticos seleccionados.
- Receptores de la contaminación.
- Rutas de exposición (mecanismos de transporte).
- Vías de exposición.
- Posible migración de los contaminantes de un medio físico a otro y su posible migración fuera de los límites del sitio de estudio.
- Otros factores de estrés diferentes a los contaminantes evaluados.
- Factores que modifiquen el efecto de los contaminantes sobre los receptores por ejemplo el estado nutricional de los organismos receptores, la temperatura, salinidad y pH del medio, presencia de materia orgánica, aporte de sedimentos.

En los modelos preliminares se indican las posibles consecuencias negativas al ambiente y a las poblaciones expuestas a los contaminantes críticos. Durante el desarrollo del estudio de riesgo ambiental, el modelo conceptual preliminar puede ser modificado con el propósito de que se incorporen nuevos elementos o se consideren solo aquellos elementos relevantes para la determinación de las acciones de remediación.

### 3. Caracterización de la exposición

#### 3.1 Determinación y evaluación de las rutas y vías de exposición

La identificación de las rutas y vías de exposición presentes (las no completas y las completas) y las futuras (rutas potenciales que por un cambio de uso se conviertan en rutas completas) es una parte fundamental en la elaboración de un estudio de riesgo ambiental.

En la determinación y categorización de las rutas y las vías de exposición (presentes y futuras) se consideran los siguientes aspectos:

1. **Fuente de contaminación:** Características físicas de la fuente que emite contaminantes al ambiente, activa o inactiva, antigüedad.
2. **Medio físico:** Aire, agua, suelo, polvo, alimento. Los cuales son los medios responsables de transportar los contaminantes desde la fuente hasta el punto de exposición.
3. **Punto de exposición:** Lugar donde las poblaciones entran en contacto con los contaminantes, por ejemplo cuerpos de agua, jardines, escuelas, casa habitación.
4. **Vía de exposición:** Inhalación (aire, gases/vapores, partículas finas, polvos), ingesta (agua, suelo, alimentos, polvos), absorción dérmica (agua, polvos, gases).
5. **Población receptora:** Poblaciones que están expuestas a los contaminantes, la población receptora es entonces la población expuesta.
6. **Ruta de exposición completa o incompleta:** Cuando a una ruta le falte alguno de sus elementos se le denominará ruta de exposición no completa o potencial se considera entonces si dicha ruta de exposición puede volverse completa en el futuro debido al cambio de uso del sitio. Si la ruta de exposición cuenta con todos sus elementos deberá considerársele completa.

En la evaluación de las rutas de exposición se deberán considerar también el uso que se vaya a dar en el futuro al sitio (después de una remediación) o el uso actual del sitio. En la evaluación de las rutas de exposición, la determinación de la exposición y la caracterización del riesgo es

de considerar de manera prioritaria el uso específico que se pretenda dar al sitio. Por ejemplo si se pasa de un uso industrial a un uso recreativo o comercial, ese uso determina que rutas de exposición en el futuro pueden darse.

Las rutas de exposición que NO son consideradas relevantes en el caso de un uso industrial pueden ser relevantes si el uso del sitio es residencial. Una modificación de escenario de uso deberá reflejarse en la evaluación de las rutas de exposición y conducir necesariamente a una revaloración de las rutas de exposición. La evaluación de las rutas de exposición deberá contener explícitamente el escenario de uso determinado para el sitio y que fue considerado en la Evaluación de Riesgo Ambiental.

Un individuo puede estar expuesto a un contaminante a través de distintas rutas, por tanto la dosis total de exposición es la suma de la exposición del individuo al contaminante a través de todas las rutas.

### 3.2 Determinación de la exposición

Responder a las siguientes preguntas es de importancia en la estimación de la exposición:

1. ¿Cuál es la ruta de exposición más importante en el sitio?
2. ¿Cuáles son los contaminantes críticos que se han detectado en dicha ruta?
3. ¿Existe la posibilidad de que los contaminantes se transporten de un medio a otro?
4. ¿Cómo se da la exposición a los contaminantes (frecuencia, duración, etc.)?
5. ¿Cuál es la población en riesgo (niños, mujeres embarazadas, etc.)?
6. ¿Cuáles son los efectos tóxicos de los contaminantes críticos?
7. ¿Cuál es la bio-accesibilidad para metales pesados en caso de que estos sean los contaminantes críticos?

La determinación de la exposición incluye las siguientes tareas:

1. Identificar los mecanismos de transporte específicos que actúan sobre los contaminantes, como por ejemplo Dispersión, escurrimiento hídrico.
2. Identificar las propiedades físico-químicas de los contaminantes que influyen en su transporte.
3. Identificar los factores específicos del sitio que influyen en el transporte de los contaminantes.
4. Identificar la fracción soluble o fracción de lixiviados de los contaminantes en suelos a partir de pruebas de laboratorio.
5. Evaluar la movilidad de los contaminantes en el suelo.
6. Determinar las tres Dosis de Referencia (DdR) de los contaminantes críticos para cada ruta y vía de exposición por ejemplo las vías oral, dérmica o inhalatoria.



En las siguientes páginas de Internet se encuentran los perfiles toxicológicos de distintos contaminantes:

ASTDR	<a href="http://www.atdsdr.cdc.gov/toxprofiles/">http://www.atdsdr.cdc.gov/toxprofiles/</a>	
US-EPA	<a href="http://www.epa.gov/iris">http://www.epa.gov/iris</a>	
OMS	<a href="http://www.who.int/es/">http://www.who.int/es/</a>	(Lista de cancerígenos)
PAN	<a href="http://www.pesticideinfo.org/">http://www.pesticideinfo.org/</a>	(Plaguicidas)
IPCS	<a href="http://www.inchem.org">http://www.inchem.org</a>	(Riesgos químicos)

### 3.2.1 Estimación de la exposición (método determinístico)

La determinación de la exposición se realizara para las vías oral, dérmica e inhalatoria. Solo cuando exista evidencia de que un contaminante no actúa a través de alguna de estas vías, dicha vía podrá ser desechada en la evaluación.

#### a. Vía de exposición dérmica

La dosis de exposición dérmica [ $DE_{DER}$ ] se puede calcular de la siguiente manera:

$$TSA = SPD_{DER} * PPE * FAP * EMS$$

$$FCE = \frac{FrE * DuE * TE}{PTE_M}$$

$$DE_{DER} = \frac{C_S * TSA * FC * FBD_{DER} * FCE}{PC}$$

Donde:

$C_S$	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]
$SPD_{DER}$	Superficie de la piel disponible para contacto [cm <sup>2</sup> /evento]
PPE	Porcentaje de área de la piel expuesta [%]
FAP	Factor de adherencia a la piel [mg/cm <sup>2</sup> ]
EMS	Efecto de influencia del tipo de matriz del suelo [%]
TSA	Total de suelo adherido [mg]
FC	Factor volumétrico de conversión 1 L/1000cm <sup>3</sup> = 1 x10 <sup>-6</sup>
$FBD_{DER}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción en piel del contaminante o Tasa de absorción del contaminante [%]
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]
DuE	Duración de la exposición [años]
PC	Peso corporal [Kg]
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]

### b. Vía de exposición por inhalación

La dosis de exposición por inhalación [ $DE_{INH}$ ] se puede calcular de la siguiente manera:

$$FCE = \frac{TRA_{INH} * FrE * DuE * TE}{PTE_M}$$

$$DE_{INH} = \frac{C_A * TI_{INH} * FBD_{INH} * FCE}{PC}$$

Donde

$C_A$	Concentración de contaminante en aire [mg/L]
$TI_{INH}$	Tasa de Inhalación [ $m^3/h$ ]
$TRA_{INH}$	Tasa de retención del aire inhalado [%]
$TE$	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]
$FrE$	Frecuencia de exposición [d/año]
$DuE$	Duración de la exposición [años]
$PTE_M$	Promedio del tiempo de exposición [d]
$FCE$	Factor corrección de la exposición [ - ]
$PC$	Peso corporal [Kg]
$FBD_{INH}$	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción del contaminante [%]

Un estimado de la dosis de exposición por inhalación que incluye la inhalación de partículas y gases y en base a la concentración en suelos de un contaminante se puede determinar aplicando la siguiente ecuación:

$$DE_{INH} = \frac{C_S * TI_{INH} * FBD_{INH} * FCE * (FEP + FV)^{-1}}{PC}$$

Donde

$FV$	Factor de volatilización
$FEP$	Factor de Emisión de Partículas (Particle Emission Factor), el cual es el inverso de la concentración de partículas en el aire en el sitio de medición. Este valor se determina midiendo la concentración de partículas en el aire según un método reconocido (incluyendo PM10).



El Factor de Volatilización (FV) se calcula para aquellos contaminantes o sustancias que tengan un Peso Molecular (PM) menor a 200 g por mol y una constante de la Ley de Henry (H) mayor que  $10^{-5}$ . Para determinar el factor de volatilización (FV) también pueden aplicarse las siguientes ecuaciones. Ejemplos de cómo calcular el Factor de Volatilización son:

$$K_d = f_{OC} * K_{OC}$$

$$FV = \frac{K_d}{H} \quad \left[ \frac{1}{FV} \right] = \frac{H}{K_D} = [FV]^{-1}$$

ó

$$FV = \left( \frac{1}{C} \right) * \left[ \frac{\sqrt{3.1 * D_A * IE}}{2 * \rho_B * D_A} \right] * \left( 10^{-4} \frac{m^2}{cm^2} \right)$$

$$D_A = \frac{(n_A^{0.3} * D_i * H) + (n_W^{0.3} * D_W)}{n^2 * (\rho_B * K_D + n_W + n_A * H)}$$

Donde:

FV	Factor de Volatilización [m <sup>3</sup> /Kg]
1/C	Inverso de la concentración promedio [Kg SS/mg]
D <sub>A</sub>	Difusividad aparente [cm <sup>2</sup> /seg]
IE	Intervalo de exposición [seg]
ρ <sub>B</sub>	Densidad aparente del suelo seco [g/cm <sup>3</sup> ]
ρ <sub>S</sub>	Densidad del suelo por partícula [g/cm <sup>3</sup> ]
n	Porosidad total del suelo $n = 1 - (\rho_B / \rho_S)$ [m <sup>3</sup> poros/m <sup>3</sup> suelo]
n <sub>A</sub>	Porosidad del suelo rellena de aire $n_A = n - n_W$ [m <sup>3</sup> aire/m <sup>3</sup> suelo]
n <sub>W</sub>	Porosidad del suelo rellena de agua [m <sup>3</sup> agua/m <sup>3</sup> suelo]
D <sub>i</sub>	Coefficiente de Difusión en aire [cm <sup>2</sup> /seg]
D <sub>W</sub>	Coefficiente de Difusión en agua [cm <sup>2</sup> /seg]
H	Constante de la Ley de Henry [PA m <sup>3</sup> /moles]
K <sub>D</sub>	Coefficiente de partición suelo - agua [cm <sup>3</sup> /g]
K <sub>OC</sub>	Coefficiente de partición de carbón orgánico en suelo – agua [cm <sup>3</sup> /g]
f <sub>OC</sub>	Fracción de carbón orgánico en suelo [g/g]



### c. Vía de exposición oral

La dosis de exposición por ingestión (media diaria) para toda la vida [DE<sub>ING</sub>] se puede calcular de la siguiente manera

$$FCE = \frac{FrE * DuE * TE}{PTE_M}$$

$$DE_{ING} = \frac{C_S * TI_{ING} * FBD_{ING} * FC * FCE}{PC}$$

Donde:

C <sub>S</sub>	Concentración de contaminante en suelos [mg/Kg]
TI <sub>ING</sub>	Tasa de Ingestión [mg/d] La Ingesta de agua varía mucho según temperatura del sitio, sus condiciones geográficas y el comportamiento de la población. No se recomienda aplicar valores de climas más fríos.
FBD <sub>ING</sub>	Factor de biodisponibilidad o tasa de absorción gastrointestinal o Tasa de absorción del contaminante [%]
FC	Factor volumétrico de conversión = 1 x 10 <sup>-6</sup>
PC	Peso corporal [Kg]
FCE	Factor de corrección de la exposición [ - ]
FrE	Frecuencia de exposición [d/año]
DuE	Duración de la exposición [años]
PTE <sub>M</sub>	Promedio del tiempo de exposición [d]
TE	Tiempo de exposición [d/año] = 365 [d/año]

Los valores de referencia para el cálculo de las dosis de exposición están indicadas en el anexo I.

### 3.2.2 Estimación de la exposición (método probabilístico)

La determinación probabilística del riesgo se hace al sustituir el valor determinístico de la Dosis de exposición por una función. Las variables de la dosis de exposición como son la tasa de ingestión, el factor de exposición o el peso corporal entre otras pueden también ser sustituidos por funciones que describan la distribución probabilística de dichas variables en poblaciones.



Para obtener una serie numérica de resultados se aplica el método “Monte Carlo”. Este método genera en lugar de un solo valor de riesgo una distribución de valores para el Cociente de Riesgo Ecológico que se expresa como la Distribución Probabilística del Cociente de Riesgo.

**Para mayor información consulte  
“Guiding Principles for Monte Carlo Análisis”, EPA/630/R-97/001, Marzo 1997**

La simulación Monte Carlo es un procedimiento que utiliza modelos matemáticos para representar la probabilidad de encontrar las diferentes dosis de exposición en una población con características específicas, a través del uso del análisis numérico.

En este procedimiento se identifican las distribuciones probabilísticas que definen cada variable en las ecuaciones. En cuanto a las tasas de ingesta, el peso corporal de los individuos y las otras consideraciones de la exposición se considera que deben ser medidos directamente en la población a estudiar, o bien hacer uso de los valores citados en el Manual de Factores de Exposición de la EPA (EPA 2002b, EPA 1997).

#### **4. Caracterización del riesgo**

La caracterización del riesgo total se realiza en dos etapas, en la primera se determina el riesgo total de una sustancia para todos los medios físico y por todas las rutas y todas vías de exposición como la suma de los riesgos individuales por todas las ruta y vías de exposición.

Después se determinara el riesgo total de todos los contaminantes críticos seleccionados como la suma de los riesgos totales de cada contaminante critico seleccionado.

La caracterización de riesgo debe de 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.

##### **4.1 Caracterización del riesgo cancerígeno**

###### **4.1.1 Método determinístico**

Para el cálculo del riesgo cancerígeno se utiliza el Factor de Potencia de Cáncer (FPC) que es la pendiente de la curva Dosis – Respuesta. El índice de Riesgo cancerigeno es entonces:



$$IR = DE * FPC$$

ó

$$IR = CRA_{(a,sóW)} * UR$$

Donde:

IR	Índice de riesgo
FPC	Factor de potencia de cáncer, (mg/Kg/d)-1
DE	Dosis de exposición
CRA <sub>A, i</sub>	Concentración Riesgo Ambiental en la i-te matriz (aire, suelo o agua)
UR	Unidad de riesgo, (mg/Kg ó mg/m <sup>3</sup> )-1.

La estimación del riesgo cancerígeno de cada contaminante crítico se realizara para todas las rutas de exposición en los que se encuentre dicho contaminante y para todas las vías de exposición. Todos los riesgos cancerígenos individuales estimados serán sumados en lo que se denominará Índice de Riesgo Total [IR<sub>T</sub>].

$$IR = \sum_{i=1}^{nm} [DE_i * FPC_i]_j$$

#### 4.1.2 Método probabilístico

La caracterización del riesgo probabilística puede realizarse aplicando la simulación Monte Carlo. En la aplicación de este método son utilizadas las mismas fórmulas de la estimación del riesgo que se usan en método determinístico.

El intervalo de las dosis en la población indicada se multiplica por el FPC y así se obtiene un intervalo del riesgo individual. La cuantificación del riesgo cancerígeno por el método probabilístico generará un intervalo de valores expresado como una Distribución Probabilística que indicará para un valor específico de riesgo una frecuencia y una probabilidad estimada.

### 4.2 Caracterización del riesgo NO cancerígeno

#### 4.2.1 Método determinístico

La estimación del riesgo no cancerígeno para efectos subcrónicos y/o crónicos debe hacerse para todas las rutas de exposición completas: suelo, polvos, agua, aire, alimentos y para todas las vías de exposición: ingestión, inhalación, contacto dérmico.

$$IP_{i,m} = \frac{DE_i}{DdR_i \text{ (o } NMR_i)}$$

Donde:

IP <sub>i,m</sub>	Índice de peligro no cancerígeno para la sustancia i en el medio m
DE <sub>i</sub>	Dosis de exposición a la sustancia i [mg/Kg PC * d]
DdR <sub>i</sub>	Dosis de Referencia de la sustancia i [mg/Kg PC * d]
MRL <sub>i</sub>	Nivel mínimo de Riesgo de la sustancia i [mg/Kg PC * d]

En el caso de la determinación del Índice de Peligro (riesgo no cancerígeno) total, se suman todos los indicadores para las diferentes rutas de exposición ( $i$ ; suelo, agua, aire y alimentos) y las diferentes vías de exposición ( $j$ ; ingestión, inhalación y contacto dérmico).

$$IP_T = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^{n,m} \left[ \frac{DE_i}{DdR_i \text{ (o } NMR_i)} \right]_j$$

$IP_T$  Índice de Peligro (Riesgo) no cancerígeno total para todas las sustancias  $i$  en todos los medios  $m$

#### 4.2.2 Método probabilístico

Se realiza por medio de la simulación Monte Carlo. Se utilizan las mismas fórmulas de la estimación del riesgo que se usaron por el método determinístico.

#### 4.3 Factores asociados al riesgo

Deben considerarse los factores que afectan el riesgo en las personas por su exposición a sustancias tóxicas, por ejemplo. la desnutrición debilita las defensas naturales. Además se ha descrito mayor absorción de algunos metales en individuos con dietas pobres en hierro, calcio o proteínas.

#### 4.4 Caracterización del riesgo escenario humano

El objetivo de la sección sobre caracterización del riesgo es obtener una respuesta a las preguntas:

1. ¿Se identificó un riesgo para la población humana?
2. ¿Los contaminantes están biodisponibles?
3. ¿Existe alguna evidencia de toxicidad?
4. ¿Hay en el sitio poblaciones de alto riesgo?
5. ¿Se detectaron factores que aumentan la exposición de la población a los contaminantes?
6. ¿Existen factores que pudieran incrementar la toxicidad de los químicos presentes en el sitio (por ejemplo, desnutrición)?
7. ¿Los análisis de laboratorio son confiables?
8. ¿En la literatura existen antecedentes como los encontrados en el sitio estudiado?
9. ¿El daño es reversible?
10. ¿El riesgo puede incrementarse en caso de que no se instrumente algún programa correctivo?



En la caracterización del riesgo para las poblaciones humanas se discuten las incertidumbres en la determinación de marcadores de exposición en cuanto a los siguientes aspectos.

Los estudios y cálculos realizados cumplen con el objetivo de su aplicación, por ejemplo si estos reflejan una exposición (no deseada) aguda, cuando lo que se busca es observar efectos crónicos.

Son los marcadores de exposición aplicados específicos con respecto a los efectos a observar.

En la caracterización del riesgo también puede aplicarse adicionalmente información proveniente la literatura científica como una contribución que ayude a soportar los estudios y cálculos realizados o como argumentación crítica. El peso de la evidencia da a los resultados la fortaleza en la contestación de las interrogantes.

En cada punto se discuten las limitantes, premisas y las incertidumbres envueltas en la evaluación. Además, el análisis de la información se realiza con criterios rigurosos y consultando siempre antecedentes científicos que hubieren sido reportados.

En caso afirmativo de que exista un riesgo en el sitio, entonces se procede a contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es la magnitud del riesgo encontrado?
2. ¿El sitio debe ser remediado activamente a fin de reducir el riesgo?
3. ¿En caso de que no se remedie activamente el sitio, el riesgo puede incrementar y/o puede extenderse a otras locaciones?
4. ¿Qué otras medidas de control y aseguramiento pueden tomarse para evitar o reducir la exposición?
5. ¿Existe alguna acción que la comunidad pueda tomar para disminuir el riesgo?
6. ¿En la comunidad existen profesionistas que pueden atender la problemática identificada?

**Los criterios para determinar si el riesgo (cancerígeno y no cancerígeno) es aceptable son los siguientes.**

**El Índice de Riesgo Total por contaminante crítico para efectos no cancerígenos crónicos y subcrónicos por contaminante es menor a 1 ( $IP_T \leq 1$ ). Este criterio también aplica en el caso de la determinación del riesgo para especies.**

**El Índice de Riesgo Total para efectos cancerígenos por contaminante crítico es menor a 1 caso de cáncer por cada Millón (1,000,000) de habitantes ( $R_T \leq 10^{-6}$ ), En algunos casos esta relación puede disminuir a ( $R_T \leq 10^{-5}$ ) dependiendo de las dimensiones de la población receptora.**

**En casos en que la determinación del riesgo total se encuentre en los límites de aceptabilidad ( $10^{-6} \leq R_T \leq 10^{-4}$ ) o se considere necesario se podrá aplicar un método probabilístico para determinar con mayor precisión los niveles de riesgo y las incertidumbres asociadas a ello.**

**También se podrán determinar niveles aceptables de riesgo cancerígeno y no cancerígeno a través de otro método adecuado de manera fundamentada.**

La identificación de las acciones de salud o educativas que pudieran ser útiles para disminuir el riesgo puede conducir a una disminución de costos de remediación al cambiar el comportamiento humano con respecto a la exposición.

La caracterización del riesgo contiene usualmente como recomendación señalamiento con respecto a estudios que sería adecuado iniciar a fin de obtener mejores evidencias del sitio.

Por último, es muy importante discutir las preocupaciones de la sociedad que hubieren sido colectadas durante la visita. El reporte final de un estudio de riesgo ambiental es importante en la comunicación de riesgos a la población pues contiene las respuestas a las interrogantes que usualmente interesan a la población.

#### **4.5 Análisis final**

Es muy importante que en uno o dos párrafos se presente una panorámica global del problema. Para ello son relevantes los cálculos y los datos cualitativos recopilados durante todo el proceso de evaluación y caracterización de riesgos. Asegurar que las conclusiones del estudio estén soportadas por evidencia conduce en su conjunto a una determinación de las acciones de remediación más rápida y con menos incertidumbres.



#### **4.6 Toxicidad por mezclas químicas**

Se recomienda caracterizar el riesgo en sitios con varios contaminantes cuando menos para los tres contaminantes más importantes en el sitio (no es limitativo). En la caracterización del riesgo, se emplean conocimientos toxicológicos (incluyendo información toxicocinética y toxicodinámica) para interpretar los resultados bajo la luz de los efectos sinérgicos que una combinación de contaminantes críticos puede tener sobre los receptores. Es de señalarse una posible adición o potenciación (sinergia) de la toxicidad por la presencia de la mezcla de contaminantes.

#### **4.7 Modificación del modelo conceptual del sitio**

Con toda la información generada se elabora un modelo conceptual definitivo del sitio y se identifican las rutas y vías de exposición de mayor riesgo. Es muy importante exponer una correspondencia entre las rutas más contaminadas y las rutas que hayan representado un mayor riesgo.

El modelo conceptual final contiene además un listado de los tóxicos críticos presentes en el sitio, en el cual se comenta la posible toxicidad asociada a la mezcla química identificada y detalla el factible comportamiento de los químicos contaminantes en su argumentación sobre el uso futuro del sitio.

Es importante esta revisión, ya que este será el modelo que se utilice para planificar la etapa remediación del sitio. Los siguientes aspectos se toman en cuenta: personas afectadas, puntos de exposición, rutas y vías de exposición, toxicidad de mezclas, comportamiento de químicos contaminantes, mecanismos de transporte. El modelo conceptual se da como una representación grafica de la exposición total o como una representación esquemática acompañada de su respectiva descripción escrita.



## 5. Herramientas para la evaluación de efectos en humanos

Otra manera de acercarse a la caracterización de riesgos para poblaciones humanas en sitios contaminados es la aplicación de biomarcadores de exposición y efecto.

**Biomarcadores de exposición:** Son respuestas biológicas que integran las propiedades fisicoquímicas del compuesto tóxico y su toxicocinética en el organismo; es decir, reflejan que el organismo está o ha estado expuesto a compuestos particulares y da cuenta de la biodisponibilidad de los tóxicos. La variación de los biomarcadores de exposición no está relacionado directamente con la acción del mecanismo específico del tóxico y no puede predecir del grado del efecto adverso en el organismo o la población.

**Biomarcadores de efecto:** Son respuestas moleculares, bioquímicas, celulares o fisiológicas de un organismo y que son indicativas del efecto tóxico de los contaminantes. Algunos de estos biomarcadores señalan solamente el estado de un proceso que puede ser o no reversible, dependiendo de la duración e intensidad de la exposición. Este tipo de biomarcadores son útiles para definir la capacidad tóxica de los contaminantes. Para seleccionar los efectos a estudiar se debe contar con antecedentes científicos de asociación con la exposición al contaminante presente en el sitio, debido a que la gran mayoría de los efectos biológicos no son específicos se recomienda hacer el análisis de factores de interferencia para reducir la incertidumbre de la inespecificidad.

---

## 5.1 Biomarcadores de exposición y efecto en humanos

Es importante conocer aspectos toxicocinéticos y toxicodinámicos asociados a los biomarcadores antes de elegir un biomarcador para su aplicación.

Cuando la información disponible a partir de los estudios de caracterización del sitio o a partir de muestreos adicionales ejecutados durante el estudio de riesgo no sea suficiente para la toma de decisiones con respecto a la salud de las poblaciones potencialmente afectadas, se puede sugerir los estudios adicionales que pueden incluir los biomarcadores y que otorguen de la información requerida para la toma de decisiones.

## 5.2 Las consideraciones para el uso de biomarcadores

1. Un grupo jerárquico de biomarcadores puede resultar en mejores resultados, los primeros de ellos pueden ser de fácil medición, rentables y generales para probar en gran cantidad en distintas áreas del sitio.
2. Indicadores generales: algunos biomarcadores son indicadores en general y solo sugieren el estrés en la población.
3. Sensibilidad relativa: un biomarcador altamente sensible podría ser útil en identificar rápidamente los cambios en la exposición.
4. La especificidad biológica y la especificidad química son factores a considerar en la elección de un biomarcador.
5. Una vez elegido un biomarcador es de comprobarse que permita: claridad en la interpretación, un tiempo razonable en la manifestación del efecto, la permanencia de la respuesta, mostrar variabilidad inherente reducida (confiabilidad), tener acoplamiento a efectos de un nivel más alto, ser aplicable en las condiciones de campo, debe de ser validadle en el campo.
6. En la elección de un biomarcador se considerara si el estado de desarrollo de un biomarcador permite su aplicación rápida, económica y sin dificultades.

Para seleccionar un biomarcador para identificar efectos de un contaminante critico en individuos y poblaciones se consideran los siguientes criterios:

1. La sustancia a estudiar es un contaminante crítico.
2. El tipo y la magnitud del riesgo cancerígeno (clasificación de la sustancia).
3. El tipo y la magnitud de los efectos crónicos (no cancerígenos) de la sustancia.
4. Número de personas afectadas por el contaminante.
5. Preocupación social por el contaminante.



---

El consentimiento por escrito del donador cuando sea un adulto o del padre o tutor del donador cuando la colecta se realice entre población infantil es de suma importancia en la aplicación de biomarcadores.

Es importante que los resultados de sus análisis y lo que significan para la salud del individuo. Sean accesibles a los donadores.

Un análisis estadístico previo permite un mejor diseño epidemiológico del estudio.

Es mejor optar por economía por estudios: transversales (comparación de un grupo control con grupos expuestos a diferentes dosis del contaminante) y por estudios en los cuales sea posible comparar la exposición pasada entre dos grupos.

En la elección de tamaño de la población a muestrear debe considerarse que esta sea representativa apoyándose modelos estadísticos.

Los resultados de la aplicación de los biomarcadores se consideran una prueba de la exposición a los contaminantes, se buscará obtener una correlación entre ellos y el nivel de contaminación en el sitio. Para recabar la información necesaria es de aplicarse cuestionarios diseñados de manera específica para la comunidad en estudio, además son necesarias entrevistas con los profesionistas de la salud del lugar.

Todos los estudios deberán ser gratuitos, voluntarios y anónimos. Asimismo, los expertos están obligados a regresar a las comunidades a entregar los resultados a cada voluntario y a explicar las conclusiones de los estudios.



## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

La primera y mas importante conclusión es con respecto a si el riesgo total (cancerigeno o no cancerigeno) determinado a través del estudio es aceptable o no.

Se deben indicar las evidencias y argumentaciones que soporten esta conclusión en especial con respecto a los contaminantes críticos, las rutas y vías de exposición completas prioritarias, los efectos en salud y la población expuesta ya evidenciados y los efectos probables de continuar la exposición.

Las conclusiones dan énfasis principalmente en los siguientes puntos:

- Los posibles efectos en salud actuales y futuros por la exposición a los contaminantes identificados, entendiendo por efectos futuros la situación una vez que se realizan las acciones de remediación y ocurre el cambio de uso del sitio.
- Las respuestas a las preocupaciones comunitarias en materia de salud.
- Los resultados de cualquier análisis, determinación o prueba con respecto de los efectos ya observados en la salud de población, en su caso.
- Los efectos que sobre la caracterización del riesgo o sobre las conclusiones del estudio podría tener la falta o la insuficiente información.

Cada conclusión del estudio es acompañada de una recomendación asociada a ella.

## 6.2 Recomendaciones

Con base en la caracterización del riesgo se harán recomendaciones para:

- Eliminar o reducir la exposición incluyendo la posible remediación.
- Sugerir actividades para dar seguimiento a los problemas de salud identificados
- Sugerir actividades para monitorear el comportamiento de los contaminantes en caso de recomendar no eliminarlos del sitio.

Todas las recomendaciones son de numerarse. Cada recomendación es de correlacionarse con cada 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.

Es de recomendarse la obtención de la información faltante cuando los datos ambientales o de otro tipo sean insuficientes para evaluar los riesgos en salud. El tipo de información que sea requerida y la fuente de la que pueda ser obtenida son de identificarse y señalarse, por ejemplo en caso de que se requieran muestreos, tendrá que establecerse el lugar preciso que deba ser muestreado, que permisos deben recabarse 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, por ejemplo si se requiere el suministro inmediato de agua potable de fuentes alternas. Las recomendaciones que no se temporalizan pueden ser consideradas como de baja prioridad.

Las acciones de seguimientos constituyen la recomendación final en todo reporte considerado 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.

Nota: Fotos obtenidas de Archivo GTZ, Dra. Cecilia Vanegas

---

## Índice

Contenido del estudio de caracterización	137
1. Ubicación, descripción y uso actual del sitio contaminado	137
2. Tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación	139
3. Plan de muestreo	139
4. Resultados de las análisis de los contaminantes en el sitio	140
5. Memoria fotográfica	141
6. Métodos de campo o laboratorio	141
7. Condiciones geológicas, geo-hidrológicas e hidrológicas del sitio	141
8. Condiciones climáticas y físicas que afectan el comportamiento de los contaminantes	142
9. Distribución y comportamiento de los contaminantes en el sitio	142
10. Datos del responsable de la caracterización	142
11. Notas aclaratorias	143

---



## **Anexo A      Contenido de un estudio de caracterización de un sitio contaminado.**

### **El estudio de caracterización contendrá:**

1. La ubicación, descripción y uso actual del sitio contaminado, en su caso, los cuerpos de agua que existan en el lugar, Notificación de si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos,
2. El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente,
3. El área y volumen de suelo dañado,
4. El plan de muestreo que prevean las normas oficiales mexicanas,
5. Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos y, en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera,
6. En el caso de que para un contaminante y un método de análisis no exista un laboratorio acreditado, los análisis señalados en la fracción 5 se practicarán por el laboratorio que elija el responsable del programa de remediación, en términos lo establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, y
7. La memoria fotográfica de los trabajos efectuados.

Cuando se trate de pasivos ambientales, el estudio de caracterización además de la información señalada arriba, contendrá lo siguiente:

7. La descripción del método a aplicar para cada tipo de pruebas de campo o laboratorio,
8. La descripción de las condiciones geológicas, geo-hidrológicas e hidrológicas, basada en los resultados obtenidos en el muestreo y pruebas de campo,
9. La descripción de las condiciones climáticas y físicas que afectan el comportamiento de los contaminantes, y
10. La determinación de la distribución y el comportamiento de los contaminantes en el suelo, subsuelo y en los acuíferos, en su caso, con base en los resultados obtenidos.

### **1.      La ubicación, descripción y uso actual del sitio contaminado, incluyendo, en su caso, los cuerpos de agua que existan en el lugar y si la autoridad del agua fue informada de algún daño a los mismos**

#### **La ubicación del sitio contendrá:**

- Estado, municipio, poblado,
- Si el sitio esta localizado en un área urbana además: colonia, calle, número, código postal,
- Si el sitio se encuentra en una vía de comunicación: kilómetro en ducto o Km en carretera o una información similar,
- Se deberán establecer las coordenadas UTM del polígono del predio en caso de sitios contaminados en áreas industriales y dentro del polígono la localización de las áreas contaminadas, y
- Se deberán establecer las coordenadas UTM del polígono de todo el sitio contaminado en el caso de áreas no urbanas.

**La descripción del sitio contendrá:**

**Para Emergencias Ambientales**

- Fecha de ocurrencia,
- Tipo de instalación,
- Motivo o causa de la emergencia ambiental, y
- Tipo de contaminante.

**Para Pasivos Ambientales además de lo anterior**

- Fechas relevante como periodos de operación y fecha de cierre de operaciones, fecha de clausura u otras importantes,
- Tipo de instalación,
- Motivo o causa de la contaminación de cada área afectada,
- Tipo de contaminante por área,
- Residuos depositados en el sitio, y
- Instalaciones remanentes en el sitio.

**Datos de afectación:**

- Uso actual del suelo,
- Área dañada,
- Profundidad y volumen de suelo dañado/contaminado, y
- En el caso de que hayan sido dañadas cuerpos de aguas; subterráneas y/o superficiales en las inmediaciones del área de afectación indicar los usos actuales de los cuerpos de agua afectados.

**Planos de localización:**

**Plano local del lugar a escala adecuada donde se muestren:**

- Las características propias del sitio como puentes y caminos de acceso, elevaciones, instalaciones, edificios etc,
- Áreas dañadas y áreas no dañadas de suelo,
- En su caso cuerpos de agua superficiales afectados,
- En su caso y en planos por separado los cuerpos de aguas subterráneas y sus características principales,
- Los puntos de muestreo con las denominaciones que se den en los resultados de los análisis químicos del contaminante, y
- Información técnica de plano: Nombre de proyecto, persona que encomienda, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, de verificación y de firma y orientación geográfica (N, S ,E ,O).

**Plano del lugar regional donde se muestren:**

- Los principales accidentes como lo son accidentes topográficos, carreteras, puentes, caminos, vías férreas, poblaciones mas cercanas, asentamientos humanos mas cercanos, ríos, lagos, u otros cuerpos de aguas superficiales cercanos cuando estos existan,

- Predio o predios que conforman el sitio contaminado, y
- Información técnica de plano: Nombre de proyecto, persona que encomienda, autor, escala del plano, nombre del plano, fecha de elaboración, de verificación y de firma y orientación geográfica (N, S, E, O).

**Planos de instalaciones donde se muestren:**

- Instalaciones y equipos,
- Depósitos, de residuos, de materiales peligrosos,
- Tuberías aéreas y subterráneas,
- Líneas de conducción de electricidad, agua y otros servicios,
- Caminos de acceso y de servicios, y
- Instalaciones subterráneas.

**2. El tipo de contaminante y cantidad aproximada de liberación al ambiente**

Tanto para emergencias como para pasivos ambientales:

- Tipo o tipos de contaminantes por área y de todo el sitio contaminado,
- Volumen derramado de contaminantes,
- Volumen de residuos o materiales peligrosos depositados, y
- En su caso volúmenes/flujo de contaminantes en emisiones (líquidas, semisólidas o gaseosas).

**3. Plan de muestreo**

- Localización en planos de los puntos de muestreo,
- Fundamento de la elección del número y distribución de los puntos de muestreo,
- En el caso de existir Normas Oficiales Mexicanas para los contaminantes, el número de muestra, el numeral referido, la tabla correspondiente o ecuación correspondiente para determinar número de muestras,
- Métodos de perforación, en su caso,
- Equipo de perforación empleado,
- Métodos de muestreo según la matriz afectada (suelo, agua, aire),
- Métodos de conservación de muestras,
- Equipo de muestreo empleado,
- Pruebas de campo a efectuar,
- Métodos de las pruebas de campo a efectuar,
- Equipos empleados en las pruebas de campo,
- Responsables del muestreo, transporte y análisis químicos de muestras, y
- Responsables de la ejecución de pruebas de campo.

**4. Los resultados de las determinaciones analíticas de los contaminantes en las muestras de suelos y, en su caso, los de los análisis y pruebas químicas, así como los de las pruebas físicas, biológicas y mecánicas practicadas a las mismas, mostrando los valores superficiales o a profundidad, según se requiera**

- Un resumen de los resultados de los análisis químicos, en una tabla, que muestre:
  - La denominación de la muestra,
  - El punto de muestreo del cual fue extraída la muestra,
  - La profundidad a la que fue tomada la muestra en metros,
  - El Método de análisis empleado,
  - Los valores de concentración de los contaminantes que rebasan y los que no rebasan los límites máximos de contaminantes en el suelo, y si la concentración esta por debajo del limite de detección la abreviatura “Debajo de Limite de Detección” [ <LD ],
  - La fecha de muestreo,
  - La fecha de ingreso al laboratorio,
  - La fecha de análisis químicos,
  - El numero máximo de días para transporte y análisis indicado por el método de análisis,
  - La preparación de la muestra efectuada,
  - Los días de almacenamiento,
  - La temperatura de almacenamiento,
  - Diferencia de días entre muestreo y análisis, y
  - La firma del responsable del laboratorio en las hojas de la tabla-resumen,
- Las hojas membreteadas y firmadas, que emite el laboratorio acreditado de los resultados químicos individuales.
- Las hojas membreteadas, que emite el laboratorio acreditado o el responsable del muestreo, de la cadena de custodia.
- Un resumen de los resultados de las pruebas de campo, en una tabla, que muestre:
  - El punto de localización de las pruebas,
  - La profundidad a la que fue realizada las pruebas en metros,
  - El o los métodos de pruebas empleados,
  - La preparación efectuada para las pruebas, en su caso,
  - Los resultados de las pruebas,
  - La fecha de las pruebas,
  - El tiempo de realización de las pruebas, y
  - La firma del responsable de las pruebas en las hojas de la tabla-resumen.
- En caso de que una prueba de campo incluya toma de muestras se deberá incluir:
  - La fecha de toma de muestra,
  - El tipo de análisis efectuados: físicos, mecánicos o biológicos, y
  - Los resultados deberán reportarse en una tabla con igual contenido de información que la de los análisis químicos.

## **5. La memoria fotográfica de los trabajos efectuados**

La memoria fotográfica deberá cubrir:

- Los trabajos efectuados de perforación, en su caso,
- La toma de muestras,
- La forma de almacenamiento,
- Las características del terreno,
- Edificaciones, en su caso,
- Infraestructura,
- Particularidades del sitio,
- Predios y calles aledañas,
- Accesos al sitio,
- Imágenes que muestren la extensión de los daños, accidentes topográficos, características especiales del sitio como arriba se señalan, medidas de emergencia/urgencia aplicadas, medidas de contención del peligro, y
- Todas las imágenes deben estar numeradas y contar con explicación o referencia a pie de imagen.

## **6. La descripción del método a aplicar para cada tipo de pruebas de campo o laboratorio**

- Descripción de las pruebas biológicas,
- Métodos de prueba del suelo según su tipo: físicas, mecánicas y biológicas,
- Las ecuaciones requeridas para evaluación de resultados,
- Parámetros de las pruebas e campo,
- Memorias de cálculo en su caso, y
- Resultados de las pruebas de campo.

## **7. La descripción de las condiciones geológicas, geo-hidrológicas e hidrológicas, basada en los resultados obtenidos en el muestreo y pruebas de campo**

- La información sobre la distribución de contaminantes en el suelo,
- planos isométricos de vista superficial y de vista lateral de la migración del contaminante en suelo y subsuelo,
- La información geo-hidrológica,
- planos isométricos de vista superficial y de vista lateral que muestren la estructura y estrato del suelo y subsuelo,
- Los valores de la permeabilidad del suelo por estrato muestreado,
- La textura de cada estrato muestreado,
- La sucesión de estratos y el perfil del suelo,
- La distancia de la superficie del suelo al nivel del manto freático,
- En caso de que el nivel de aguas del acuífero sea muy profundo se señalara por separado a que profundidad se encuentra este,
- En caso de una afectación en aguas subterráneas incluir: dirección del flujo dada a partir de las alturas piezométricas del sitio y su tipo,
- Interpretación geológica del sitio,

- Interpretación hidrológica del sitio, y
- Resultados de estudios geológicos (estratigrafía y edafología), geo-hidrológicos y los resultados de registros de perforación ejecutados explícitamente para el sitio.

## **8. La descripción de las condiciones climáticas y físicas que afectan el comportamiento de los contaminantes**

### **Características climáticas:**

- Precipitación media mensual en la región,
- Precipitación media anual en la región,
- Precipitación media estacional: temporada de lluvias (abril – septiembre), Temporada de estiaje (octubre – marzo),
- Temperatura media mensual en la región, y
- Evaporación medias en la región.

### **Condiciones físicas que afectan el comportamiento de los contaminantes:**

- Sellado superficial del sitio,
- Tipo de sellado: asfalto, concreto, bloques, empedrados, etc.
- Área sellada, área no sellada,
- Tipo y textura del suelo en los estratos afectados y por debajo de la afectación,
- Instalaciones subterráneas existentes,
- pH y condiciones de oxido-reducción del suelo,
- Edificios y sus condiciones,
- Dirección de vientos predominantes,
- Inclinación de terreno, y
- Grado de escurrimiento superficial, método de cálculo y memoria de cálculo.

## **9. La determinación de la distribución y el comportamiento de los contaminantes en el suelo, subsuelo y en los acuíferos, en su caso, con base en los resultados obtenidos**

- Los planos con isocóncntración generadas con base en un método de interpolación y con base en los resultados de análisis químicos y pruebas de campo, planos de las manchas de contaminación (lateral, vista superior y/o tridimensional),
- El método de interpolación elegido y su fundamento, y
- La evaluación de la movilidad de los contaminantes como se señala en el anexo C.

## **10. Datos del responsable de la caracterización**

- Como lo son nombre, empresa o institución a la que pertenece, experiencia comprobable, dirección, teléfono y correo electrónico.

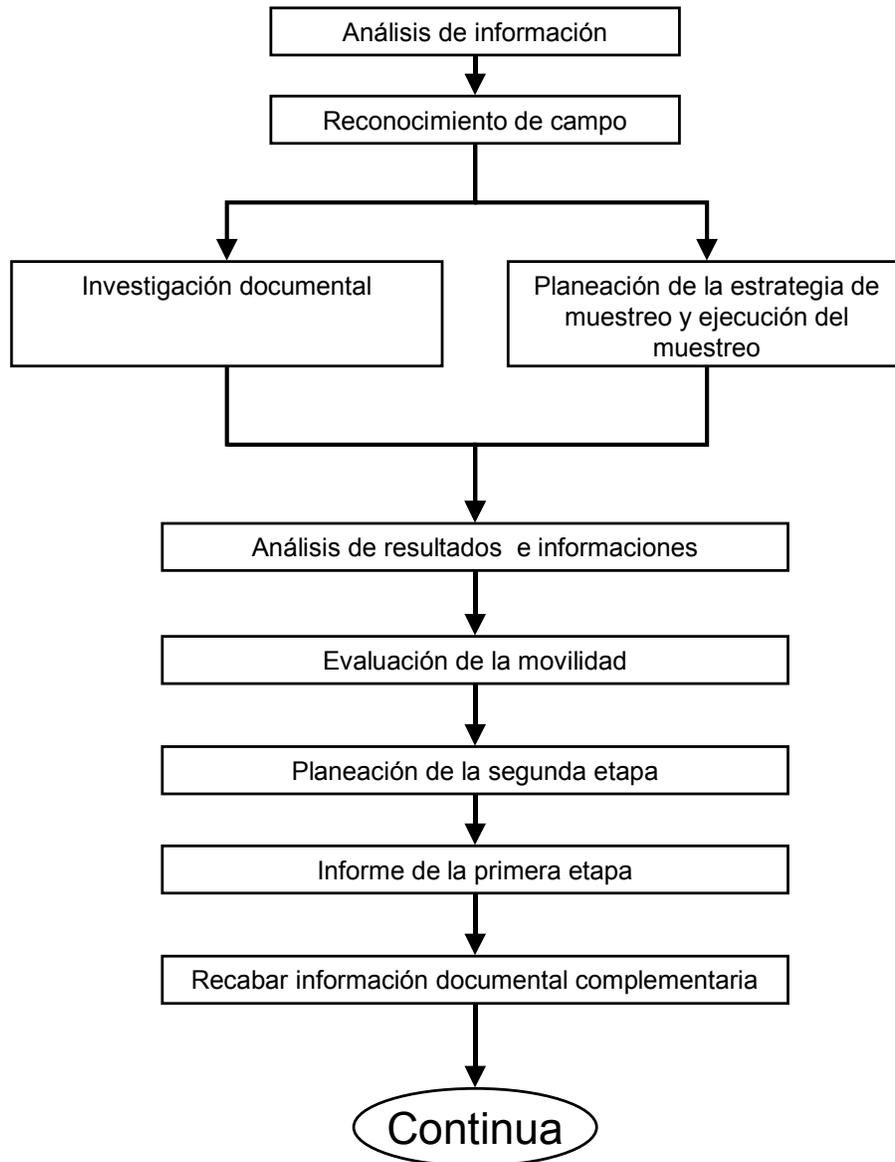
## **11. Notas aclaratorias**

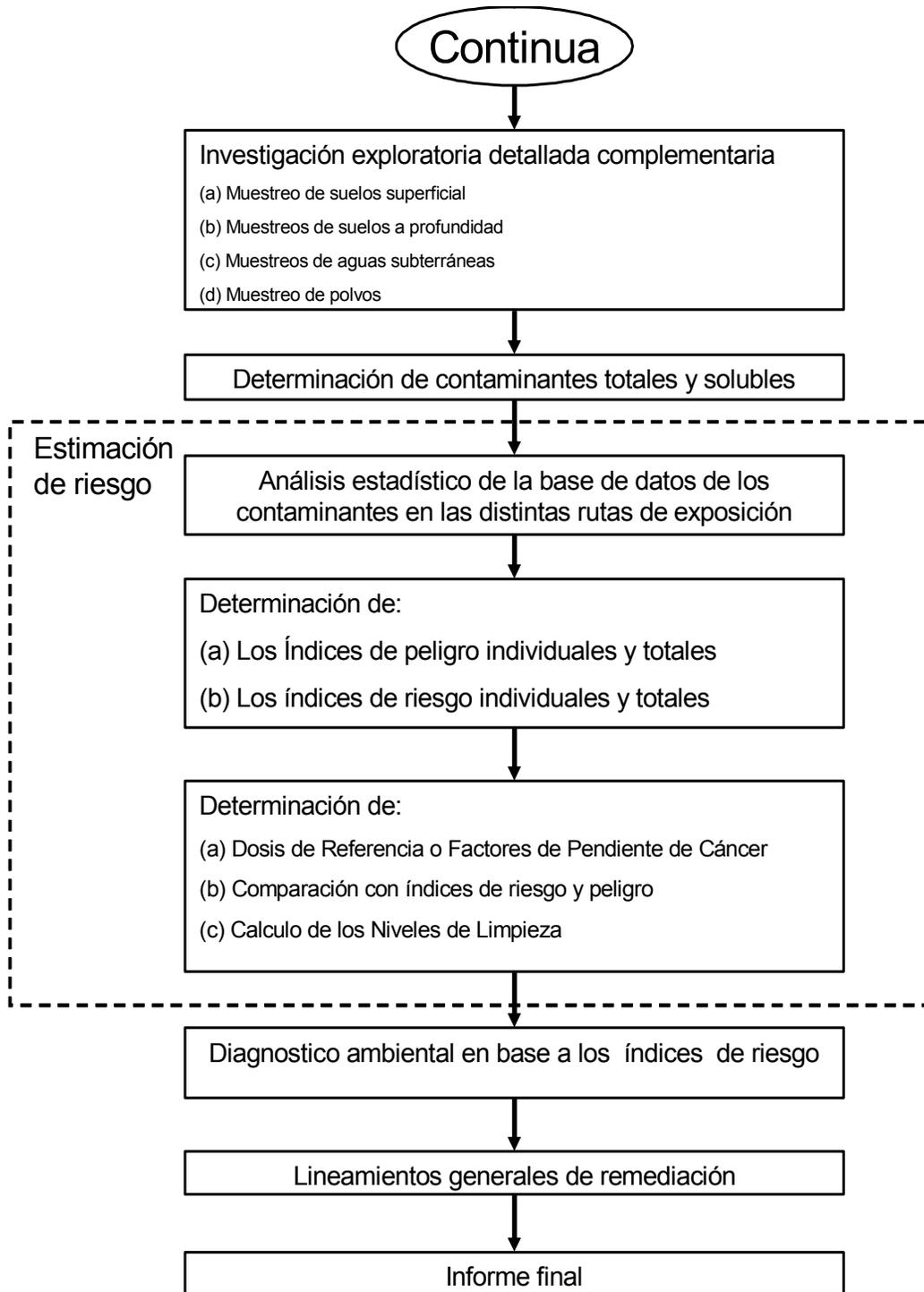
- Una recopilación de datos y antecedentes históricos sobre las actividades y sucesos que originaron la problemática del pasivo ambiental se efectúa de acuerdo al Anexo 1, numerales 1.1 y 1.2,
- En los casos, en los cuales haya sido el suelo contaminado excavado (removido) inmediatamente después del suceso de derrame de contaminantes y el suelo haya sido transportado a otra localidad a un sitio preparado ex profeso para ello, con el fin de ser remediado o en el caso de que haya sido removido y puesto sobre la superficie en las inmediaciones del sitio afectado dentro de una celda o área de tratamiento con el fin de evitar una dispersión mayor de contaminantes, entonces se señalarán los puntos de la caracterización que no aplican,
- De cualquier manera se deberá mostrar fehacientemente que después de la remoción del suelo no quedaron contaminantes remanente en el sitio del derrame por arriba de los Límites Máximos Permisibles o Concentraciones de Referencia de las Normas Oficiales Mexicanas. Por ello el plan de muestreo estará orientado a mostrar esta circunstancia,
- La memoria fotográfica comprenderá el antes y el después de la remoción de suelo, en estos casos, y
- Los valores de los parámetros referidos en el punto 4 se darán a partir de muestras representativas. La representatividad y con ello la distribución de las muestras debe estar fundamentada.



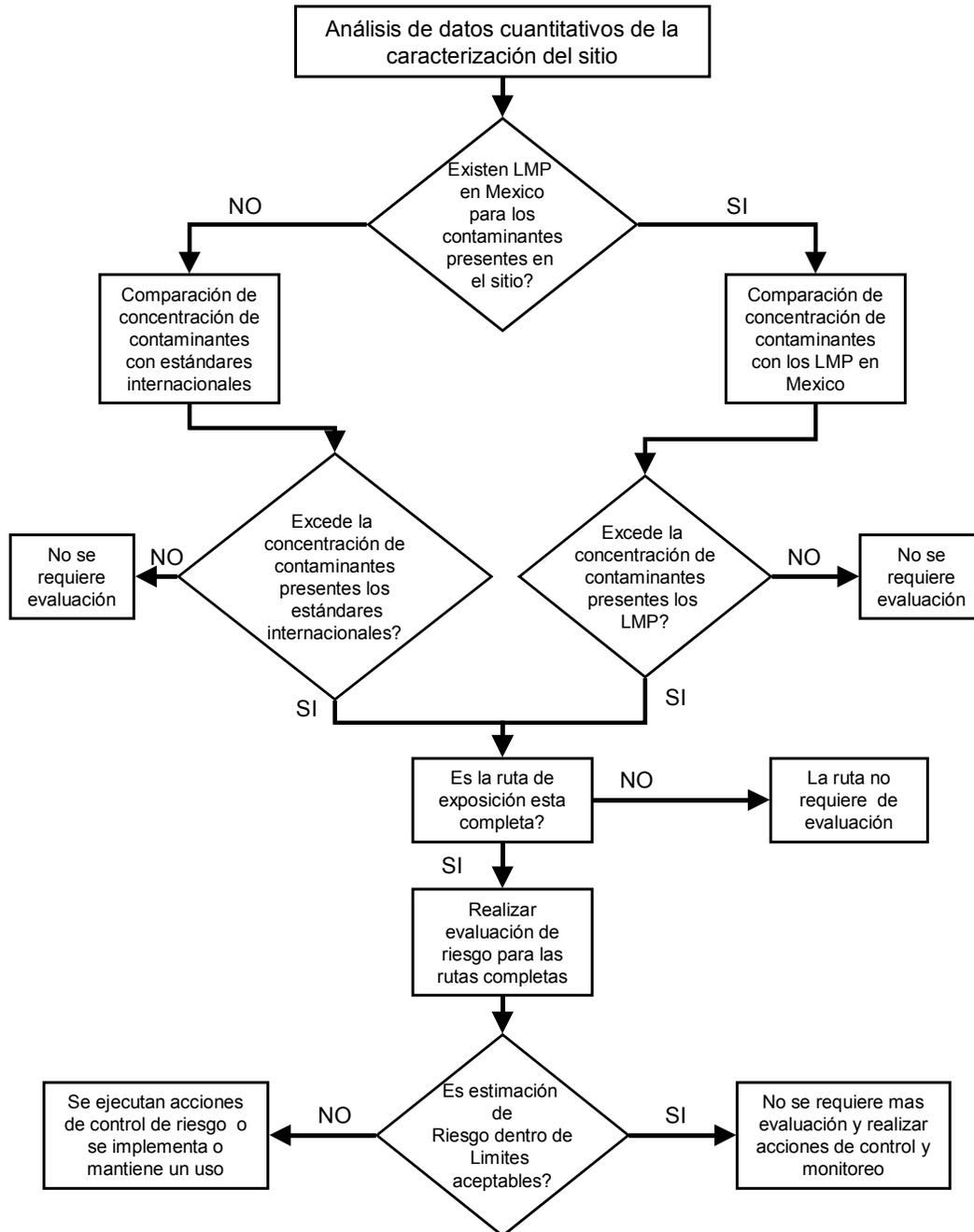
## Anexo B Ejemplos de la estrategia general que se siguió en un estudio de Evaluación de Riesgo Ambiental

**Diagrama 1.** Diagrama general de flujo de la ejecución de un estudio de riesgo al medio ambiente y a la salud humana (Gutiérrez *et al.*, 2003).



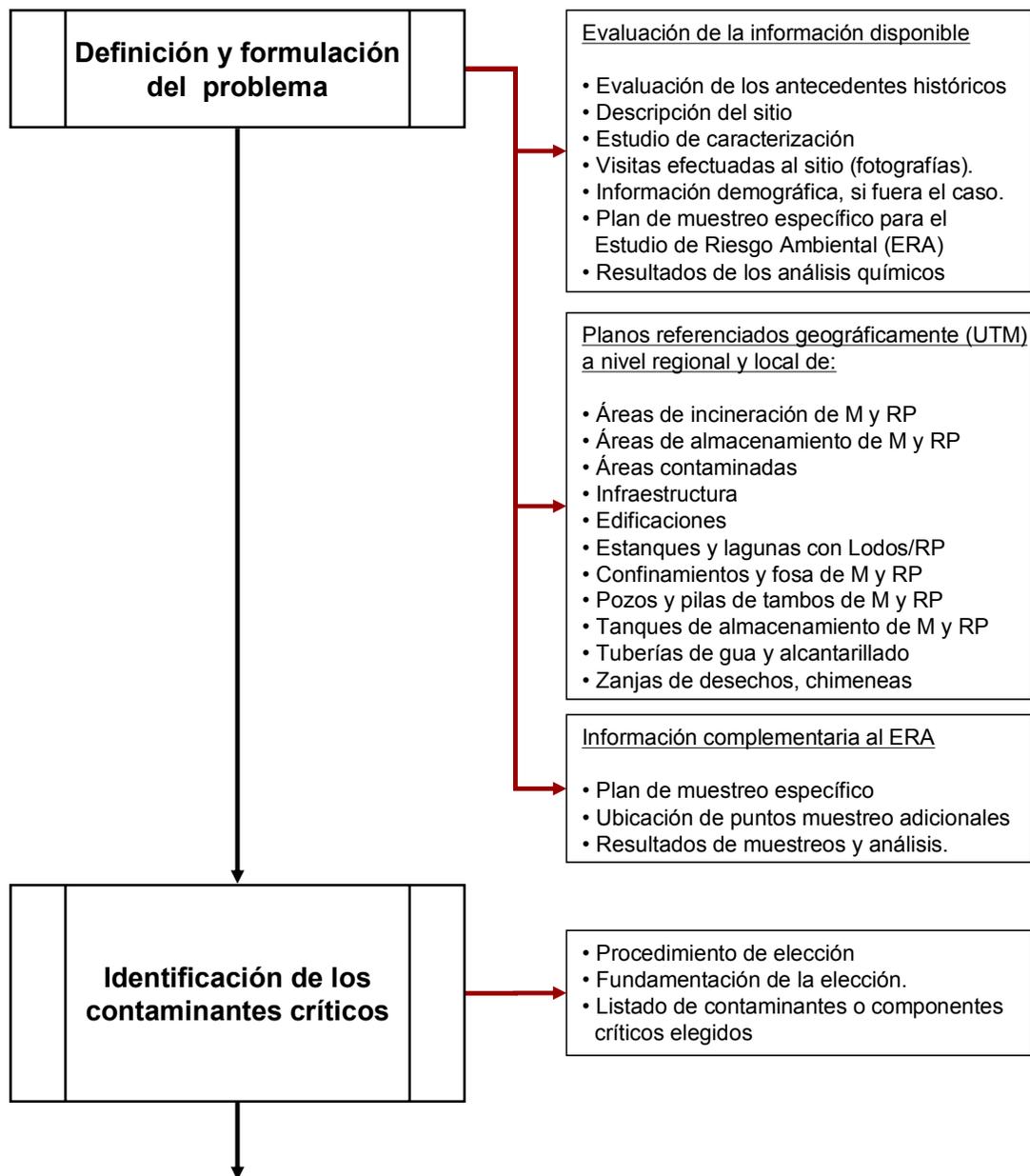


**Diagrama 2.** Flujo de las decisiones y acciones realizadas en un estudio de evaluación de riesgo al medio ambiente y a la salud humana, cuando no fueron necesarios estudios exploratorios complementarios Fuente: estudio de riesgo FNM Aguascalientes, (Llamas *et al.*, 2004)

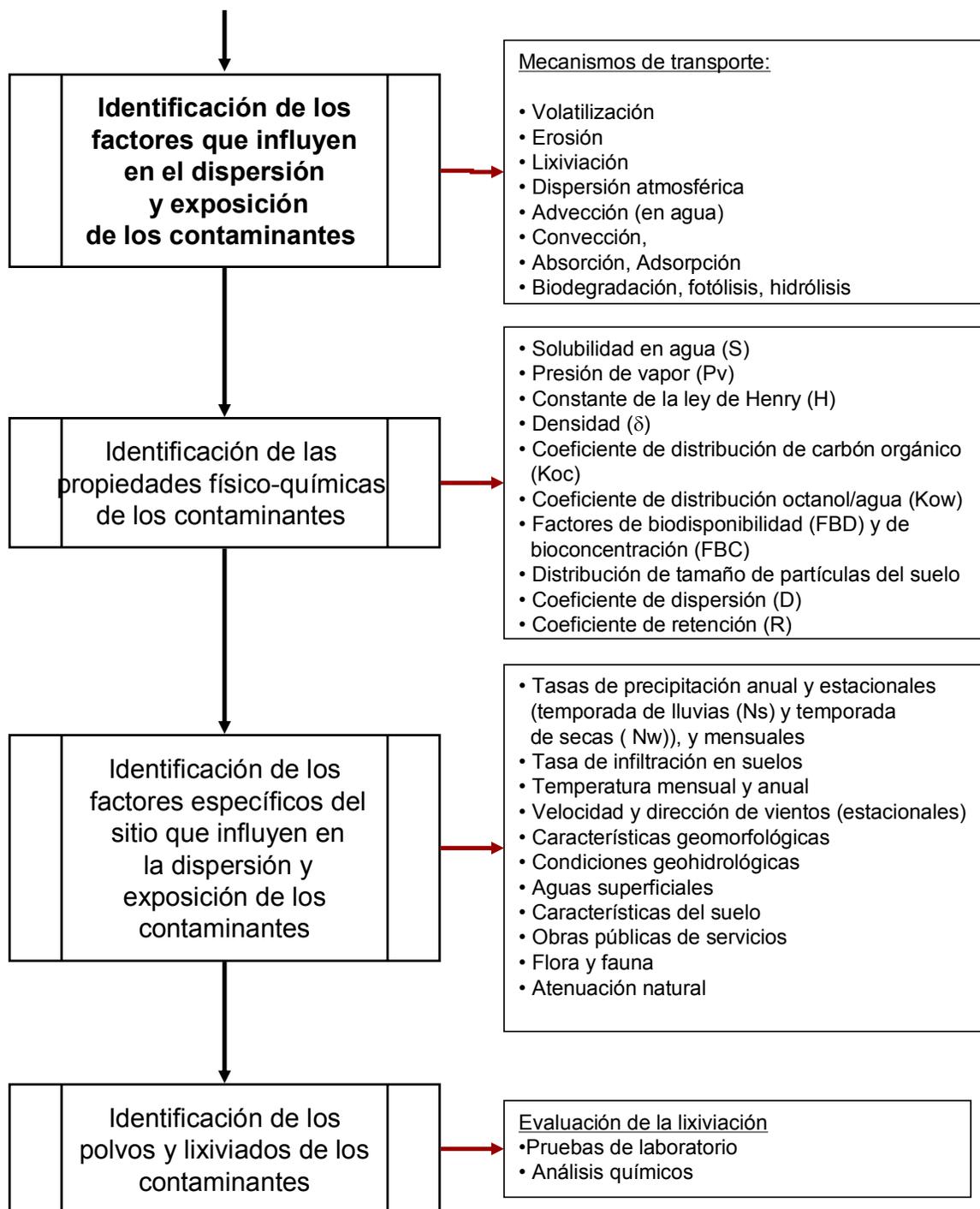


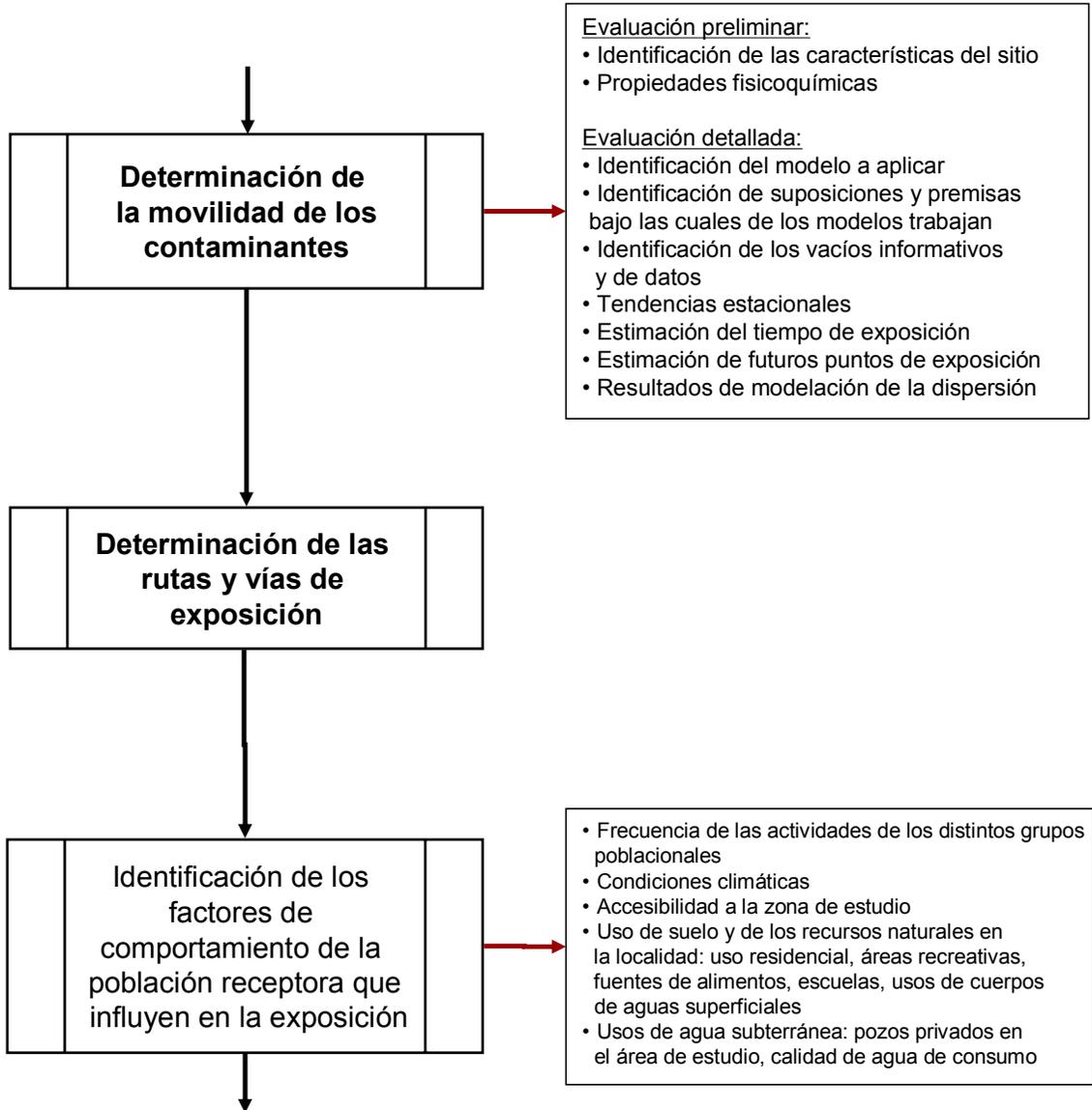


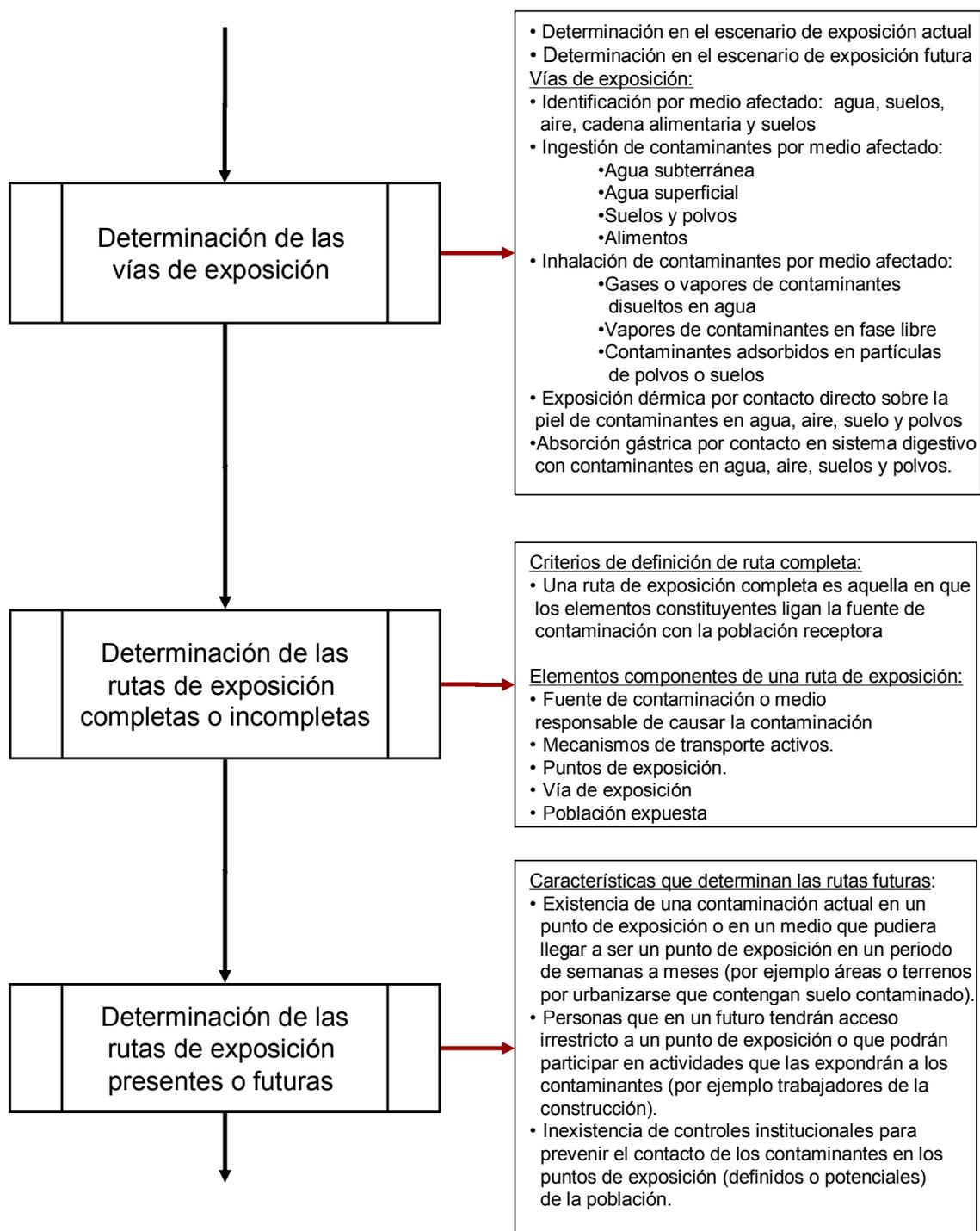
## ANEXO C Diagrama de flujo de las etapas de la Evaluación de Riesgos Ambientales.

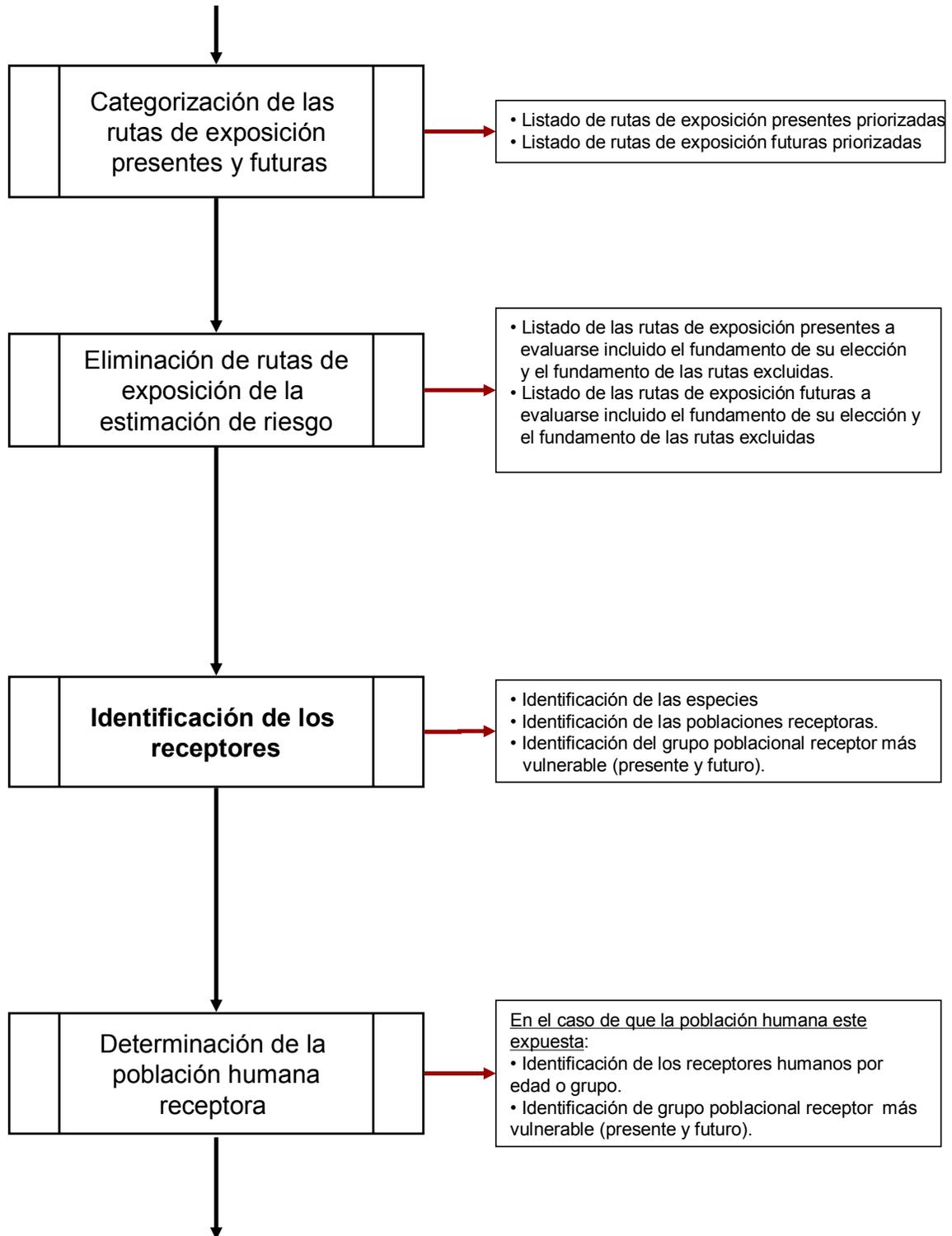


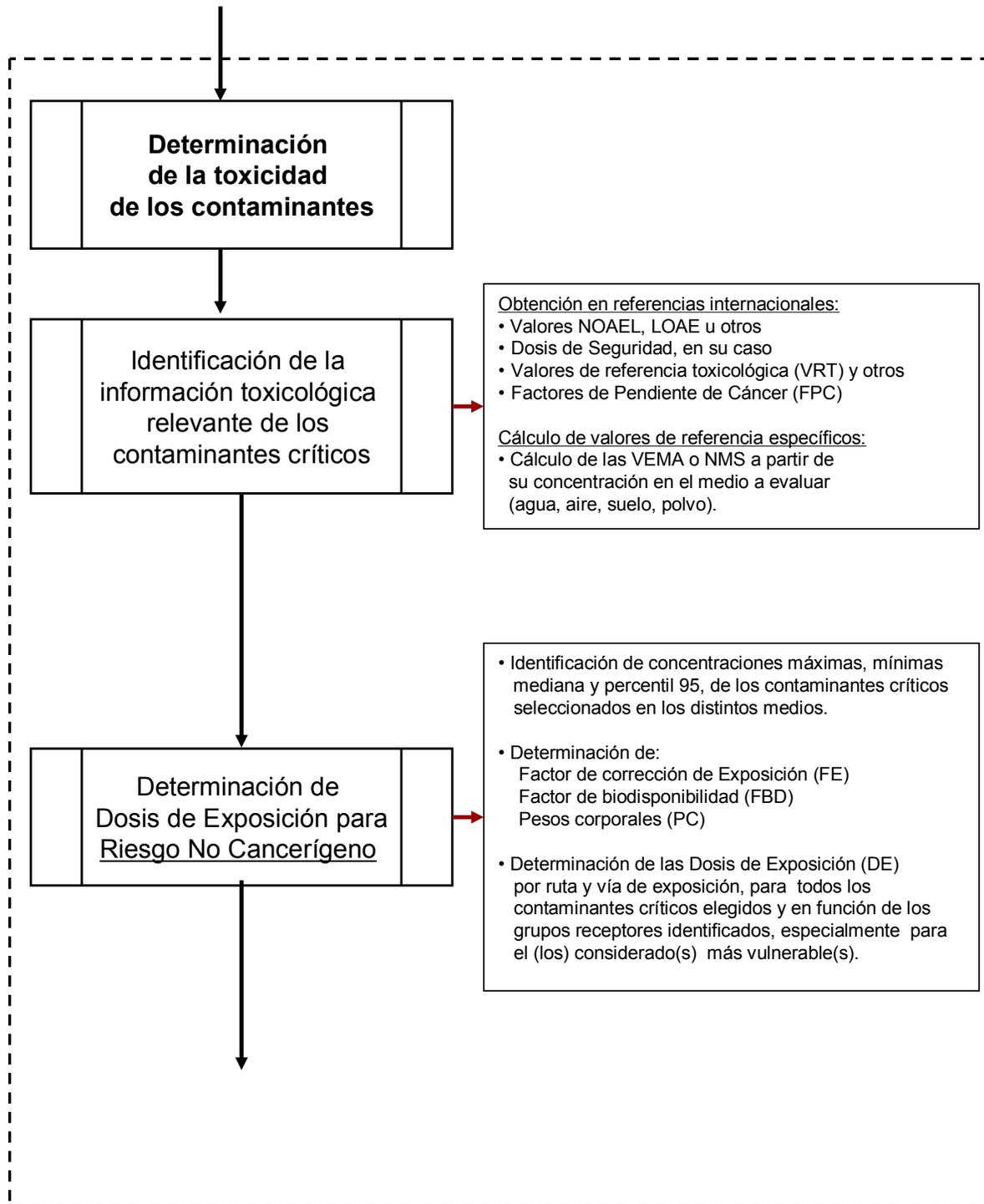
MP: Materiales Peligrosos  
 RP: Residuos Peligrosos

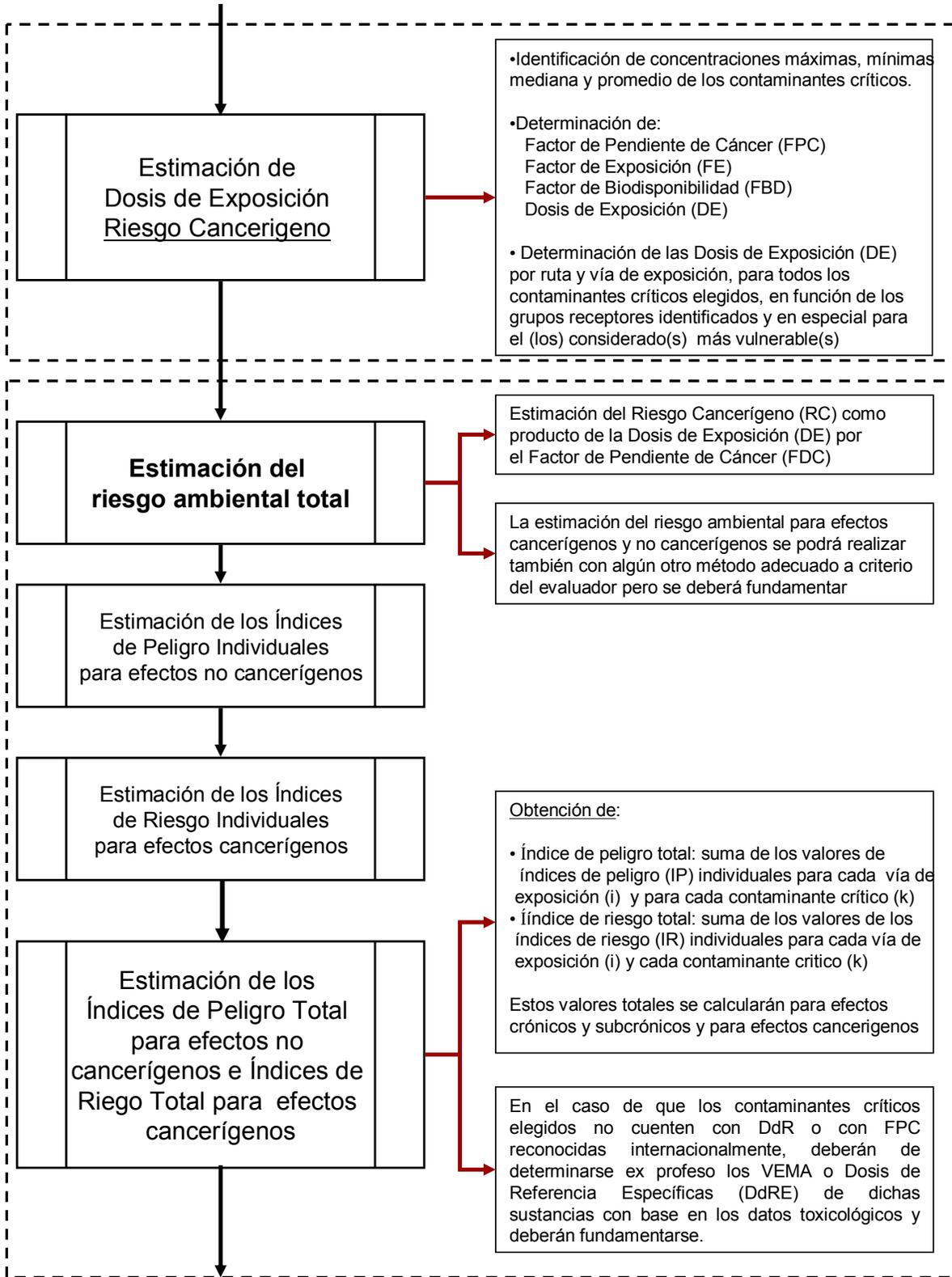


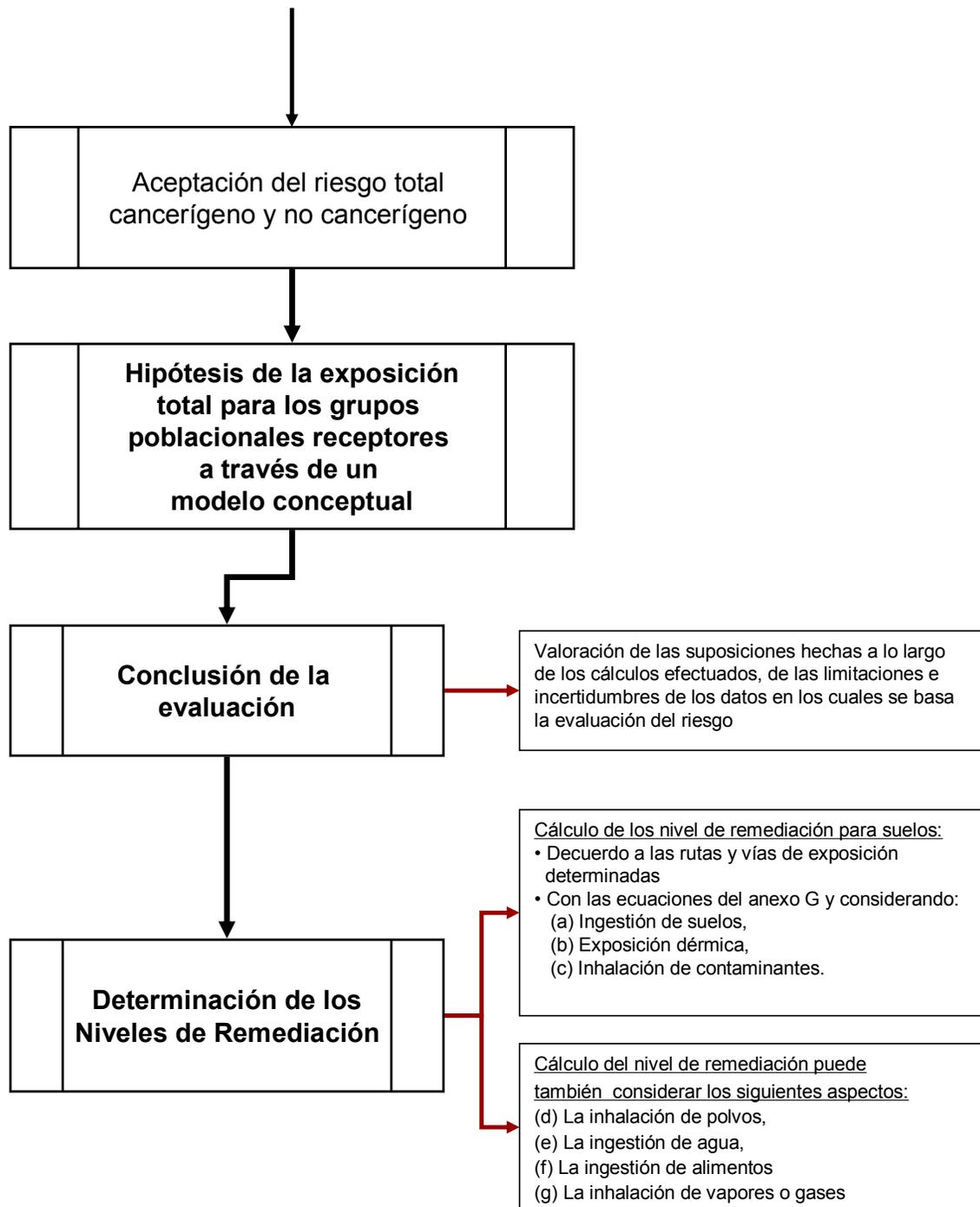












## **Anexo D Matriz de decisión para determinar el nivel de estudio de riesgo ambiental a desarrollar**

### **Niveles de estudio**

#### **Nivel 0, caso A**

Cuando los receptores son:

- Solo los recursos naturales no biológicos (suelo y agua).

El tipo de área pueda ser:

- Urbana industrial y/o comercial,
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.), y
- Área Natural Protegida (en cualquiera modalidad).

Es de aplicarse el anexo metodológico 1.

#### **Nivel 0, Caso B**

Cuando los receptores son:

- Los recursos naturales no biológicos (suelo y agua) y además seres humanos.

El tipo de área pueda ser:

- Urbana industrial y/o comercial,
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.), y
- Área Natural Protegida (en cualquiera modalidad).

Son de aplicarse los anexos metodológicos 1 y 2 según corresponda.

#### **Nivel 1**

Cuando se trata de:

- Áreas Naturales Protegidas o
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.).

Donde los posibles receptores de la contaminación puedan ser:

- Especies de uso o valor económico,
- Especies protegidas, y
- Ecosistemas valiosos.

Y No existe la información toxicológica necesaria para realizar la evaluación de riesgo ambiental.  
Es de aplicarse el anexo metodológico 1.

## **Nivel 2**

Cuando se trata de:

- Áreas Naturales Protegidas o
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.).

Donde los posibles receptores de la contaminación puedan ser:

- Especies de uso o valor económico,
- Especies protegidas, y
- Ecosistemas valiosos.

Y existe la información toxicológica necesaria para realizar la evaluación de riesgo ambiental. Es de aplicarse el anexo metodológico 1.

## **Nivel 3**

Cuando se trata de:

- Áreas Naturales Protegidas o
- Áreas no urbanas con actividad agropecuaria (agrícola/ganadera/piscícola, etc.).

Donde los posibles receptores de la contaminación puedan ser:

- Especies de uso o valor económico,
- Especies protegidas, y
- Ecosistemas valiosos.

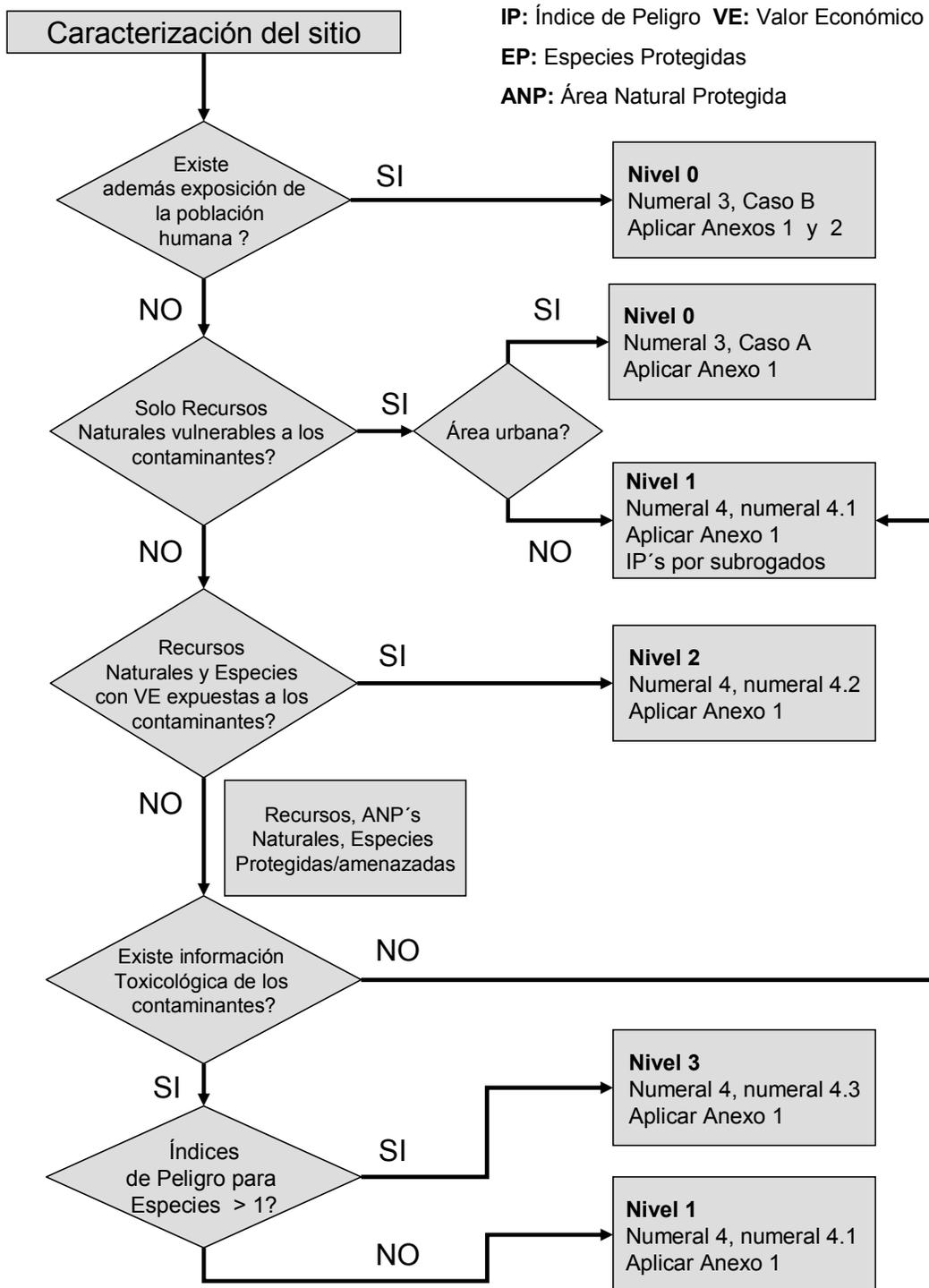
Y existe la información toxicológica necesaria para realizar la evaluación de riesgo ambiental y se haya determinado que los Índices de Peligro para especies sean mayor que 1. Es de aplicarse el anexo metodológico 1.

**Figura 1** Matriz de decisión para la elección del nivel de estudio

Tipo de receptor	Tipo de área		
	Área urbana (Industrial/ Comercial)	Área no urbana (Agrícola)	Área natural protegida (Ecosistemas valiosos)
Recursos Naturales No biológicos suelo, agua	Nivel 0 Numeral 3 Caso A	Nivel 0 Numeral 3 Caso A	Nivel 0 Numeral 3 Caso A
Recursos Naturales y Población Humana	Nivel 0 Numeral 3 Caso A y B	Nivel 0 Numeral 3 Caso A y B Considerar Numeral 4	Nivel 0 Numeral 3 Caso A y B Considerar Numeral 4
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies con valor económico Sin información toxicológica		Nivel 1 Numeral 4 4.1 Considerar caso B	Nivel 1 Numeral 4 4.1 Considerar caso B
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies amenazadas/protegidas o con valor económico Con información toxicológica		Nivel 2 Numeral 4 4.2 Considerar caso B	Nivel 2 Numeral 4 4.2 Considerar caso B
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies protegidas y ecosistemas			Nivel 3 Numeral 4 4.3 Considerar caso B
Recursos Naturales (no biológicos y biológicos) Especies protegidas y ecosistemas. IP < 1 y/o sin información Toxicológica			Nivel 1 Numeral 4 4.1 Considerar caso B

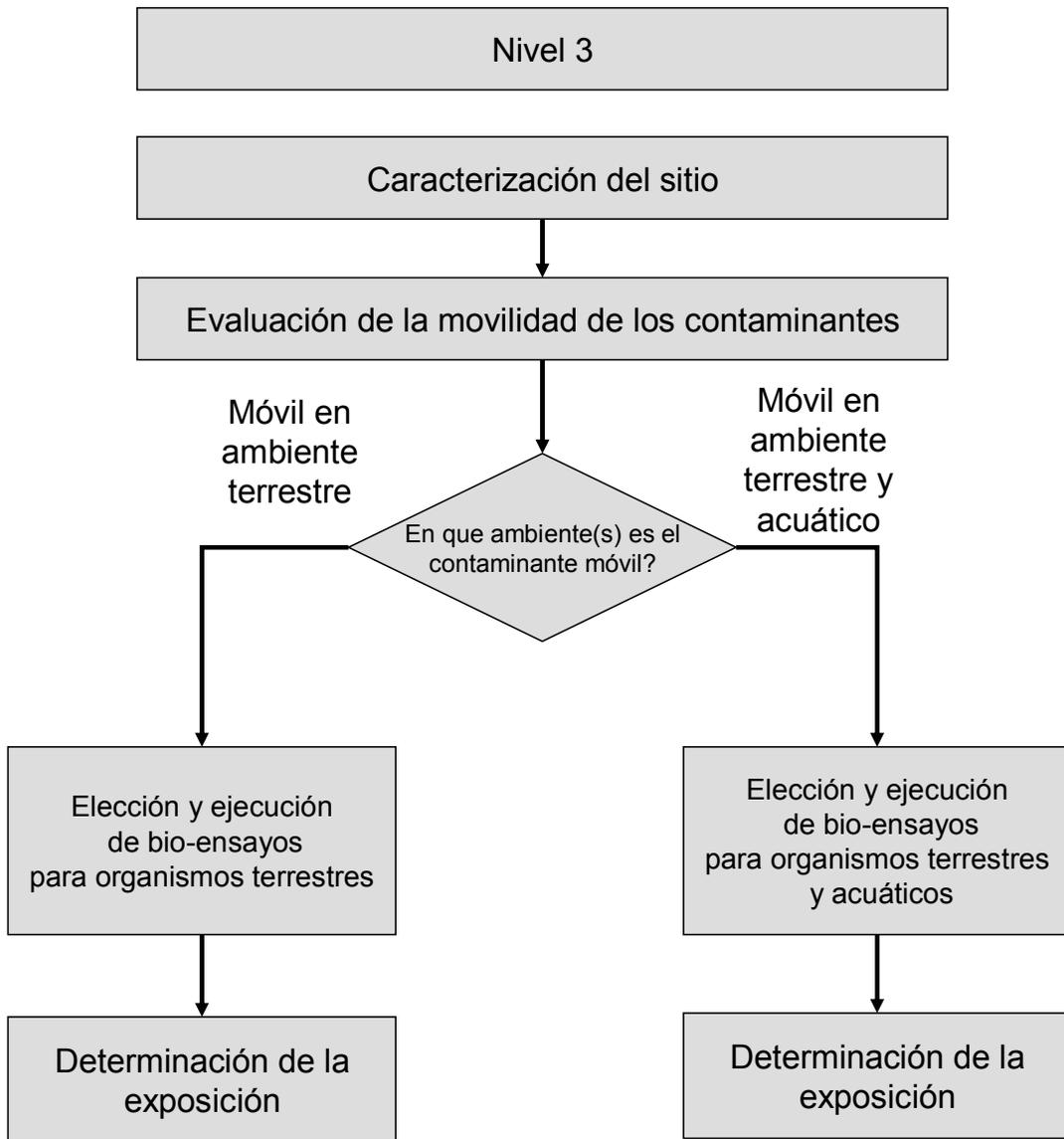
IP: Índice de Peligro

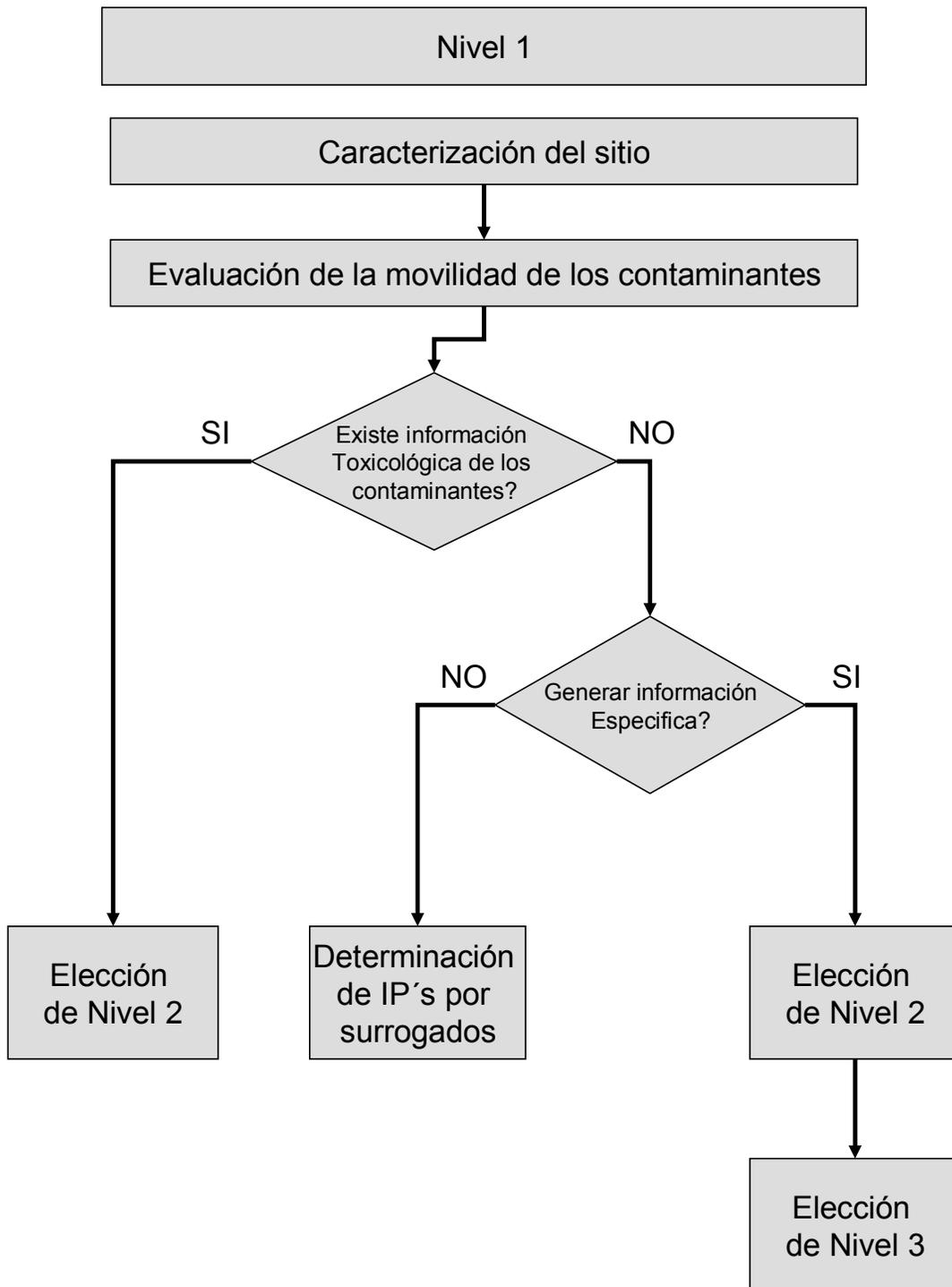
**Figura 2** Flujo de decisiones según el tipo de receptor y la información disponible



Especies con VE: Especies con valor económico.  
 Especies con EP: Especies con Estatus de Protección.

**Figura 3** Flujo de decisión según la matriz ambiental afectada y su movilidad



**Figura 4** Flujo de decisión según la información existente o a generar

---

## Índice

<b>1. Introducción</b>	165
<b>2. Métodos de prueba recomendados</b>	165
2.1 Métodos para los contaminantes inorgánicos	165
2.2 Métodos para los contaminantes orgánicos	166
2.3 Métodos de prueba normados (NOM's)	166
<b>3. Recomendaciones para la elección del método adecuado para pruebas de lixiviación de acuerdo al tipo de contaminante</b>	166
3.1 Comentarios con respecto a los contaminantes inorgánicos	166
3.2 Comentarios con respecto a los contaminantes orgánicos	167
3.3 Evaluación de la lixiviación de contaminantes en suelos	168
<b>4. Métodos de prueba de lixiviación</b>	170
4.1 Método de extracción del saturado de suelos	170
4.2 Método de extracción S4 "Determinación de la lixiviación con agua"	171
4.3 Método de extracción a pH estático	172
4.4 Método de extracción de USEPA 1312	174
4.5 Método ASTM D3987-85 (Modified Shake Extraction of Solid Waste)	175
4.6 Método de extracción con una solución de Lauril Sulfato de Sodio	180
4.7 Método de lixiviación en lisímetros	181
4.8 Centrifugación para obtención o recuperación de solución de suelos	183
4.9 Método analítico para determinar la bioaccesibilidad del Plomo	184
4.10 Extracción de solubles con agua en equilibrio con CO <sub>2</sub>	186

---



---

## **ANEXO E Métodos de prueba para la determinación de la lixiviación de contaminantes de suelos**

### **1 Introducción**

Suelos contaminados, depósitos de residuos peligrosos, depósitos de residuos urbanos, depósitos de residuos sujetos a planes de manejo y suelos ya tratados que se utilizaran para relleno, pueden lixiviar contaminantes a un cuerpo de agua cuando agua de lluvia o agua subterránea se infiltra a través de ellos. Los contaminantes pueden lixiviarse disueltos en el agua o pueden ser arrastrados como fase libre o partículas junto con el agua de infiltración.

Cuando estos lixiviados atraviesan regiones del subsuelo no contaminadas, los contaminantes pueden ser retenidos (adsorbidos o absorbidos), biodegradados o precipitados en el suelo, contaminando zonas más amplias del suelo. La transferencia de contaminantes, que se da con los lixiviados representa un riesgo a la salud humana si los contaminante son transferidos a un cuerpo de agua limpio, el cual es utilizado como fuente de abastecimiento para consumo humano y si la concentración de los contaminantes en los lixiviados esta por arriba de un nivel aceptable o por arriba de lo señalan las Normas Oficiales Mexicanas.

Para evaluar en que medida esto puede suceder es necesario realizar un estudio para **“determinar la lixiviación”** de los contaminantes, cuya finalidad es la determinación de la concentración y carga total (Kg contaminante/m<sup>3</sup> de suelo o Kg contaminante/ m<sup>2</sup> de superficie) de contaminantes que se desprenden o lixivian del suelo contaminado bajo las condiciones imperantes en el sitio.

Con la evaluación de la lixiviación se estiman las emisiones de contaminantes provenientes de un suelo contaminado actual y las que pudieran surgir en el futuro. Para ello se mide la cantidad de contaminantes en los lixiviados según métodos de prueba preestablecidos y que reflejan las condiciones que imperan en el sitio contaminado. También la evaluación considera la concentración y carga de contaminantes que se introducirá por infiltración de agua de lluvia, por el movimiento lateral de aguas subterráneas o por el contacto de la zona no saturada contaminada con un cuerpo de agua superficial.

### **2 Métodos de prueba recomendados**

Existen métodos de prueba que se pueden aplicar para determinar la producción de lixiviados en el sitio contaminado bajo las condiciones del sitio. Como medio de lixiviación se utiliza agua o soluciones acuosas.

#### **2.1 Métodos para los contaminantes inorgánicos**

- Método de la USEPA 1312,,
- Método ASTM D3987-85 (Modified Shake Extraction of Solid Waste with Water),
- Método de extracción del saturado de suelos<sup>1</sup>,
- Método de extracción S4<sup>2</sup> o método de lixiviación con agua,

---

<sup>1</sup> Según el reglamento de suelos de Alemania.

- Método de extracto con solución de nitrato de amonio,
- Método de extracción a pH estático (pH=4)<sup>3</sup>.

## 2.2 Métodos para los contaminantes orgánicos

- Método de lixiviación con una solución del tenso activo Lauril Sulfato de sodio o método SDS,
- Método de lixiviación en lisímetros,
- Centrifugación.

## 2.3 Metodos de prueba normados (NOM's)

- Método de la NOM 053 SEMARNAT-1993,
- La NOM 138 SEMARNAT/SSA-2003 no indica pruebas para la determinación de lixiviados,
- La NOM 147 SEMARNAT/SSA - 2004 indica los siguientes métodos:
  - Método analítico para determinar la bioaccesibilidad del plomo,
  - Extracción de solubles con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub>.

**El método de la NOM 053 es un método que originalmente fue diseñado para la determinar si un residuo es o no peligroso y por lo tanto no es recomendable para determinar la lixiviación de suelos contaminados con materiales y residuos peligrosos.**

Los métodos, que están descritos en la sección 3.3, son aplicables para evaluar la lixiviación de contaminantes en suelos o en materiales semejantes.

## 3 Recomendaciones para la elección del método adecuado para pruebas de lixiviación de acuerdo al tipo de contaminante

### 3.1 Comentarios con respecto a los contaminantes inorgánicos

El método de extracción del saturado del suelo respecto al método de extracción S4 refleja mejor las condiciones suelo-agua y sus relaciones de cantidad. Sin embargo, las desventajas del método son: la pequeña cantidad de lixiviado que se gana, lo intensivo de su aplicación, el tiempo de duración y las dificultades para suelos muy permeables o muy arcillosos.

El método S4 es un método de lixiviación muy probado y de extenso uso en Alemania. Las diferencias fundamentales frente al extracto de saturado de suelos consiste en la cantidad de lixiviado producido y por otro lado en la aplicación de una carga mecánica sobre del suelo o material durante la agitación.

---

<sup>2</sup> Según la norma alemana DIN 38414-4.

<sup>3</sup> Según el reglamento de suelos de Alemania.

---

El método de extracción con nitrato de amonio ha sido utilizado raramente hasta este momento en la gestión de sitios contaminados. Este procedimiento representa un compromiso entre el método S4 y el método de extracto del saturado de suelos. Investigaciones comparativas han mostrado, que tanto con el método de nitrato de amonio como con el método S4 se han medido las concentraciones más altas de lixiviados.

La comparación de los métodos de extracción del saturado del suelo y el método de extracción con nitrato de amonio han mostrado en ciertas ocasiones resultados contradictorios, pues con éste último se han determinado altas concentraciones de lixiviados.

Un factor fundamental que permite evaluar la movilidad de contaminantes, además de la concentración de los contaminantes en el lixiviado, es la concentración o fracción de sustancias y partículas eluibles (partículas sólidas de contaminante arrastradas).

Si la evaluación considera la cantidad de éstas partículas eluibles en el procedimiento de evaluación, entonces se muestran por regla común diferencias relativamente menores entre los distintos métodos de evaluación de la lixiviación.

A pesar de sus deficiencias, el método de extracción de saturados de suelos es aplicable para la gestión de sitios contaminados. Cabe destacar que los resultados de estas pruebas y sus análisis químicos deben ser interpretados con cuidado pues los resultados son influenciados fuertemente por las condiciones de prueba y por ello se recomienda que sean mantenidas lo más constantes posible.

El método reconocido en el proyecto de NOM 147 se basa en el método de ASTM D 3987-85. American Society for Testing and Materials (1992). Standard Test Method for Shake Extraction of Solid Waste with Water, ASTM, West Conshohocken, PA, 4p. Este método es semejante al método de EPA, lo que cambia es el medio ácido en el cual se realiza la lixiviación.

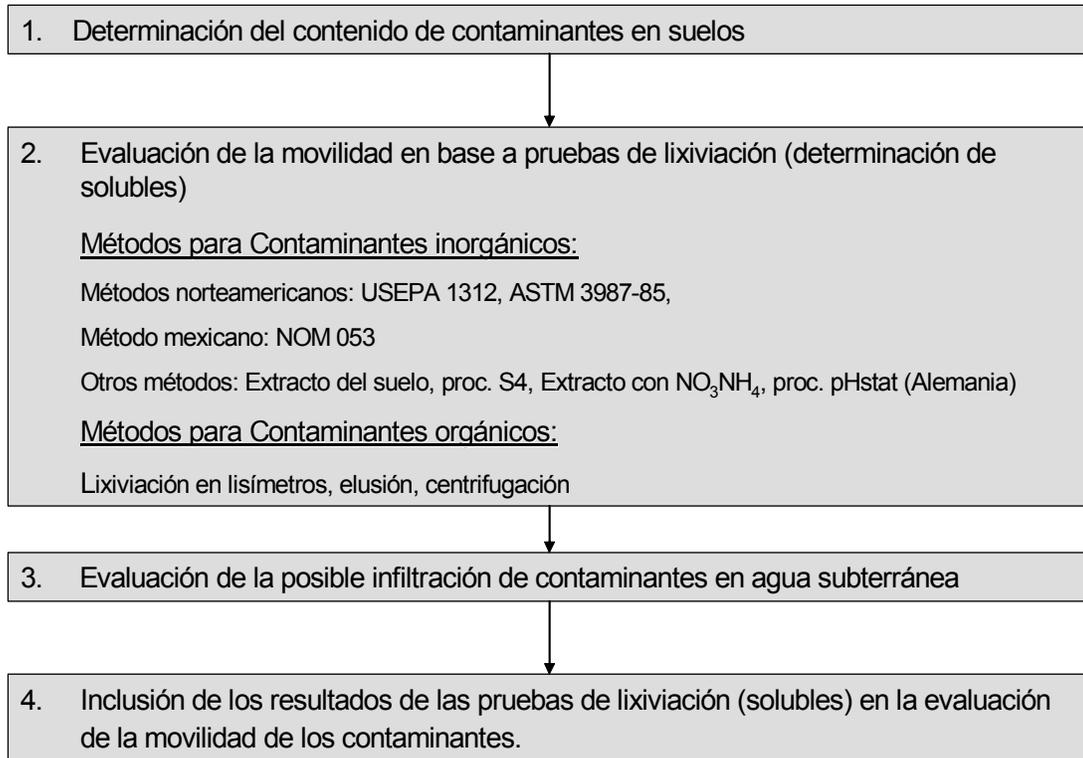
### **3.2 Comentarios con respecto a los contaminantes orgánicos**

La aplicación de los métodos de lixiviación en lisímetros (columnas) para la lixiviación de contaminantes orgánicos es limitado, ya que solo se aplica de manera razonable a algunos contaminantes orgánicos y son más complicados en su uso.

Estas pruebas son adecuadas para suelos y materiales contaminados con Hidrocarburos Poli aromáticos (HPA), para suelos y materiales contaminados con PCB o sustancias similares. En cambio, para suelos contaminados con productos de petróleo, como los hidrocarburos con intervalos de ebullición medios o altos, su aplicación y certeza son limitados. Para la investigación de suelos contaminados con hidrocarburos volátiles halogenados o aromáticos (BTEX) no son adecuados, así como para la evaluación de la lixiviación en suelos con buena plasticidad y alto contenido de fracción fina (arcillas).

### 3.3 Evaluación de la lixiviación de contaminantes en suelos

**Figura 1** Estrategia general para la evaluación de la lixiviación de contaminantes en suelos



Para la determinación de la fracción lixiviable ( $F_L$ ) de un contaminante en suelo o subsuelo con respecto a la concentración total del contaminante se recomienda utilizar la siguiente ecuación.

$$F_L = \frac{C_L}{C_S} * RSA * 100$$

Donde:  $C_L$ = concentración en lixiviado;  $C_S$ = concentración en suelo; RSA= Relación Suelo-Agua.

Ejemplo: Aplicando el método de extracción S4 y considerando que la relación suelo – agua (RSA) es de 10 litros por cada Kilogramo de suelo o 1 litro de agua por cada 0,1 Kg de sustancia seca de suelos. La concentración total en suelos es de 4800 mg/Kg SS y la concentración del contaminante en el lixiviado después de aplicar el método es de 120 mg/Kg SS (la concentración se da al multiplicar mg/L de agua \* L de agua /Kg SS).

$$F_L = \frac{120}{4800} * 10 * 100 = 25 \%$$

El resultado de la prueba indica que el 25% de los contaminantes pueden pasar a la fase líquida del suelo (capacidad de lixiviarse), o lo que también significa capacidad de dispersarse.

**Tabla 1.** Adecuación de métodos de elusión (lixiviación) por tipo de contaminante y por tipo de suelo

Método de prueba	Tipo de contaminante				Tipo de suelo			
	Inorgánico	Orgánico			Apilamiento o suelo suelto			
		Difícilmente volátil y fácilmente soluble en agua	Difícilmente volátil y con solubilidad reducida en agua	Fácilmente volátil	Arenoso-gravoso	Limoso-arenoso	Limoso-arcilloso	Rocoso
Extracto de suelos saturado	+	+	(1)	-	-	±	+	-
Centrifugación	+	+	(1)	-	±	+	+	
Extracto con NO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub>	±	-	-	-	+			
Método S4 (Lixiviación)	+	+	(2)	-	+			
Método pHstat (Lixiviación)	±	(1)	(1)	-	+			
USEPA 1312	(1)	-	-	-	+			
ASTM 3987-85 Método en NOM 147	(1)	-	-	-				
Elusión relación Sólido /Líquido 2:1	+	+	(1)	-	+			
NOM 053 Características CRETIB	-	(1)	(1)	-	+			
Prueba en lisímetros (columnas)	(1)	+	+	-	+	+	±	
Método de sonda de absorción / succión de agua subterránea	+	(3)	(3)	-	-	+	±	-
Método de sondeo de agua subterránea	+	+	+	+	+	+	±	-
Exploración continua del agua subterránea a través de pozos de control y muestreo	+	+	+	+	+	+	±	±

(1.): Adecuado; hasta el momento hay pocas experiencias o conocimientos extensos acerca de su adecuación.

(2.): En teoría adecuado.

(3.): Existe falta de conocimientos acerca de las interacciones del material con tales sustancias, por lo tanto no es posible aún decir si es adecuado o no.

(+): Adecuación reducida.

(-): Ninguna adecuación o muy reducida.

(±): Adecuado bajo ciertas condiciones.

## **4. Métodos de prueba de lixiviación**

### **4.1 Método de extracción del saturado de suelos**

#### **4.1.1 Área de aplicación**

Investigaciones de suelos contaminados y materiales de suelos así como escombros. Aplicable a materiales contaminados con sustancias inorgánicas.

#### **4.1.2 Descripción**

Una porción de la muestra de aproximadamente 250 g se coloca en un recipiente sellado. Posteriormente se le agrega suficiente agua hasta que este completamente húmeda. La muestra se mezcla y después se deja reposar por 24 horas. Después de este tiempo la muestra se traslada a un tubo de centrifugación y se le va agregando agua hasta que la muestra alcance el límite plástico de flujo. La pasta así formada, debe ser conservada a 5 °C bajo protección contra evaporaciones (cerrar tubo) por otras 24 h. Después de este tiempo la muestra se centrifuga por 30 minutos en una centrífuga refrigerante a 20 °C. Finalmente, el líquido superficial se decanta y filtra a través de una membrana.

#### **4.1.3 Condiciones**

- La muestra no debe prepararse de ninguna manera,
- Tiempo total de lixiviación: 48 h,
- Temperatura: durante las primeras 24 h la muestra se mantiene a temperatura ambiente, las siguientes 24 h se mantiene a 5 °C y finalmente a 20 °C durante la centrifugación,
- Filtración: con membrana de 0,45µm de porosidad,
- pH: no se requiere que sea controlado,
- Carga mecánica aplicada: mínima-media.

#### **4.1.4 Ventajas**

La lixiviación se lleva a cabo en condiciones más semejantes a la realidad que con otros métodos de lixiviación.

#### **4.1.5 Desventajas y límites**

El método es tardado y complejo. El paso llamado “adición de agua hasta alcanzar el límite plástico de flujo” es subjetivo y deja espacio para errores y es una desventaja en cuanto a la repetibilidad controlada de la prueba. La cantidad de lixiviado que se obtiene es relativamente pequeña y corresponde a aproximadamente 100 mL de extracto por cada 250 g de muestra. La cantidad de lixiviado para fines analíticos puede ser reducida, de tal manera que se requieren cantidades de muestras mayores y un mayor volumen o número de tubos para obtener suficiente lixiviado.

Para muestras de granulación gruesa (gravas), el método solo se puede aplicar bajo ciertas condiciones. La filtración se dificulta mucho para materiales con un granulado muy fino (arcillas), de tal manera que se obtienen cantidades de lixiviados reducidas. En estos casos se establece otro equilibrio físico-químico entre la fase sólida y la líquida.

#### **4.1.6 Comentarios**

El método fue desarrollado originalmente en los Estados Unidos para determinar el contenido de sales en suelos salados. El método no fue desarrollado explícitamente para la evaluación de suelos y materiales contaminados, sino que fue desarrollado para la determinación en suelo de iones como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$ .

### **4.2 Método de extracción S4 “Determinación de la lixiviación con agua”**

#### **4.2.1 Área de aplicación**

El método es aplicado a (a) Materiales sólidos, pastosos y lodosos, (b) Prueba para determinar el riesgo y la lixiviación de contaminantes en aguas, (c) Determinación de sales solubles de materiales residuales.

#### **4.2.2 Descripción de método**

El material a investigar deberá ser sometido a las pruebas en el mismo estado como fue depositado o en el estado en el que se encuentra el suelo. Es decir, la prueba de lixiviación se lleva a cabo con el estado de humedad de la muestra original, tal como fue muestreada..

Solo si es necesario para la prueba, se realiza un cuarteado o cribado del material. La necesidad surge cuando el material tiene partículas o granulado con diámetro superior a 10 mm. La muestra de ninguna manera debe ser molida.

Se recomienda realizar una prueba de contenido de humedad con una muestra independiente, con el propósito de conocer la cantidad de muestra no seca que se requiere para tener al final 100 g de sustancia seca (SS). Una vez realizada esta prueba, se toma una muestra de aproximadamente 100 g de SS, se agrega en una botella de cuello ancho con 1 litro de agua destilada, la botella se cierra y el contenido es agitado. La muestra con el agua debe agitarse constantemente pero debe evitarse en lo posible la trituración mecánica por fricción y roce. Después de 24 h de agitación son separadas la fase sólida y la fase líquida por filtración o centrifugación. El lixiviado deberá tener una tonalidad completamente claro.

Alternativa: La suspensión podrá dejarse sedimentar por 15 minutos. El líquido superficial podrá ser decantado y podrá centrifugarse durante 30 minutos a 2000 g. El centrifugado debe ser decantado en un equipo de filtración a presión; los primeros 5 minutos del filtrado será por gravedad y después con 1 bar de presión.

#### **4.2.3 Condiciones:**

- Medio de lixiviación: agua,
- Valor de pH: no controlado,
- Filtración: con membrana de 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidad,
- Filtrado a presión y/o centrifugación,
- Relación sólido: líquido = 1:10,
- Carga mecánica por agitación y volteado sobre cabeza.

#### **4.2.4 Ventajas**

Buena repetibilidad, procedimiento sencillo, costos bajos, método rutinario de poco tiempo.

#### **4.2.5 Desventajas y límites**

El método es aplicable a muestras con contaminantes inorgánicos solubles en agua. Con muestras con contaminantes orgánicos aparecen efectos de adsorción sobre la botella de vidrio y sobre el material o membrana de filtrado. Con contaminantes volátiles existen pérdidas por evaporación.

La baja fuerza iónica en lixiviados inducen la formación de coloides, los cuales pueden no ser separados por filtración y por ello no son registrados durante los análisis químicos de determinación de la concentración. A través de la carga mecánica por fricción, agitación y rozamiento surgen nuevas fases de tal manera que esto puede resultar en una mayor lixiviación respecto a los que sucede bajo condiciones naturales (materiales no perturbados) debido a la perturbación de las muestras. La utilización de agua destilada representa una diferencia frente al agua infiltrada. El agua destilada muestra una menor capacidad de movilización para los contaminantes que las aguas infiltradas.

Debido a la relación sólido: líquido los contaminantes se diluyen fuertemente y por lo tanto los límites y rangos de determinación pueden ser mayores. Es decir puede resultar que no se determinen correctamente los contaminantes por estar muy diluidos. Las unidades del resultado de la prueba son en [mg/Kg SS]. Sin embargo, para la evaluación de la fracción móvil y del riesgo las unidades deben ser en [mg/L].

### **4.3 Método de extracción a pH estático**

#### **4.3.1 Área de aplicación**

- Evaluación del comportamiento de metales pesados en residuos y suelos a largo plazo,
- Lixiviación bajo condiciones ácidas (pH = 4),
- Lixiviación bajo condiciones alcalinas (pH =11).

#### **4.3.2 Descripción**

Una muestra de aproximadamente 100 g de SS se pesa y se coloca en un Matraz Erlenmeyer. Posteriormente se le adiciona a la muestra 1000 mL de agua destilada. El matraz se cubre con una tapa con perforaciones adecuadas para la introducción del electrodo de pH y de la pipeta de un equipo de titulación automático.

El matraz debe estar colocado sobre una placa o mesa de agitación y debe estar bien sujetado a esta. El matraz debe agitarse con movimientos rotativos con una suficiente velocidad, de tal manera que los sólidos estén completamente en movimiento.

La estación de titulación automática debe programarse a un pH de 4 unidades o a un pH de 11; las muestras deben agitarse por 24 horas. El consumo de las soluciones de HNO<sub>3</sub> o de NaOH deben registrarse para el cálculo de la capacidad de neutralización ácida o básica. La suspensión debe filtrarse con una membrana de nitrato de celulosa con una porosidad de 0,8 µm utilizando sobre-presión. El lixiviado debe ser estabilizado.

### 4.3.3 Condiciones

- Preparación de la muestra: las partículas o aglomerados con diámetros superiores a los 6 mm deben ser fracturadas,
- El medio de lixiviación son: soluciones diluidas de HNO<sub>3</sub> o NaOH,
- Valor de pH: 4 para la área ácida y de 11 para la área básica,
- Relación sólido-liquido: 1/10,
- Filtración: con membrana de nitrato de celulosa con porosidad de 0.8 µm,
- Filtrado a presión,
- Carga mecánica: por medio de agitación.

### 4.3.4 Ventajas

Con este método puede evaluarse la lixiviación de metales pesados bajo las peores condiciones posible “*worst case*”. Es un complemento de los otros métodos de prueba debido a que muestra el comportamiento de los contaminantes inorgánicos bajo condiciones que simulan una acidificación o alcalinización extrema, como por ejemplo en el caso de lluvia ácida.

La capacidad de neutralización ácida o básica es una importante información para la evaluación de la capacidad de Puffer de un suelo o de un residuo. A través de él se puede evaluar que tanto tiempo una infiltración de aguas ácidas podrá ser captada por esta capacidad de Puffer y como será la movilidad y lixiviación de los contaminantes en el futuro.

### 4.3.5 Desventajas y límites

Este método de prueba solo puede complementar otros métodos de prueba como los arriba descritos y pero no podrá sustituirlos. Además, podrá aplicarse si se considera que debe realizarse una evaluación a largo plazo como lo es el caso de residuos expuestos a infiltración a largo plazo.

### 4.3.6 Comentarios

Los metales pesados son mas solubles en niveles de pH ácidos que en niveles neutrales. La lixiviación de metales pesados a un pH de 4 representa un caso muy desfavorable. Por ejemplo, cuando carbonatos de metales pesados distintos e hidróxidos de metales pesados entran en solución a este pH de 4. Si el pH del agua de lluvia es distinto a 4, el método puede modificarse para adaptarlo a las condiciones del pH del agua.

Los resultados de la lixiviación alcalina a pH 11 describe la movilización de metales pesados en complejos con las sustancias húmicas de suelos, así como la de los complejos aniónicos como lo son los arseniatos, cromatos y antinomiatos. Los metales pesados pueden ser movilizados a un pH de 11 también cuando yacen como complejos hidróxicos por ejemplo zincatos, cobratos o plomatos.

Para pasivos ambientales con cierta antigüedad la lixiviación únicamente es a pH 4 o a un pH semejante. El resultado de la prueba es la relación de la fracción móvil de un contaminante en unidades de [mg/ 0.1 Kg SS de muestra].

## 4.4 Método de extracción de USEPA 1312

### 4.4.1 Área de aplicación

Los reactivos que se utilicen deberán tener pureza grado analítico. El agua que se utilice para la prueba debe ser un agua en la cual no se obtengan interferencias por arriba del nivel de detección de la sustancia de interés a analizar.

Para extracciones de sustancias no volátiles se aplicara agua de tipo II según ASTM o equivalente. Para extracciones de sustancias volátiles puede emplearse agua generada con los siguientes métodos de purificación: filtración en filtro de carbón activado, filtración en un sistema Millipore Super-Q o equivalente, hervor del agua por 15 minutos y burbujeo de gas inerte libre de contaminante (por ejemplo nitrógeno) a una temperatura de  $90 \pm 5$  °C por una hora con la posterior transferencia a una botella que pueda sellarse sin dejar espacio libre.

Para la elaboración de la solución de lixiviación se utilizara una solución base de  $H_2SO_4/HNO_3$  en una proporción 60/40; es decir, una mezcla de 60 g de ácido sulfúrico concentrado y 40 g de solución de ácido nítrico concentrado. Con esta solución se preparan soluciones más diluidas para hacer más fácil el ajuste del pH.

### 4.4.2 Preparación de soluciones de extracción

Solución 1: la solución de  $H_2SO_4/HNO_3$  se mezcla con el agua hasta obtener un pH = 4.2 + 0.05, esta solución se aplica para evaluar la lixiviación de residuos. La solución no esta amortiguada con buffer y por ello el pH puede variar.

Solución 2: la solución de  $H_2SO_4/HNO_3$  se mezcla con el agua hasta alcanzar un pH = 5.0 + 0.05, esta solución se aplica para estudiar la lixiviación de suelos. La solución no esta amortiguada con buffer y por ello el pH puede variar.

Solución 3: la solución consiste solo de agua y se aplica para estudiar la lixiviación de cianidos y compuestos volátiles. La solución no contiene buffer y por lo tanto el pH puede variar.

Las muestras de suelos deben ser recolectadas con un medio adecuado. Una parte de ellas deberán destinarse a la determinación del contenido de agua y de sustancia seca, la determinación de la distribución de tamaño de partículas, la fracción de sustancias volátiles y de las no volátiles. Sustancias que ayuden en la preservación de las muestras no deben ser empleadas. Las muestras deben refrigerarse a menos que se sospeche que la refrigeración cause cambios en ella.

Cuando la muestra sea utilizada para medir la lixiviación de compuestos volátiles, su pérdida se deberá minimizar. Los extractos deberán prepararse rápidamente y deben ser analizados lo más rápido posible. Los extractos que contengan metales pesados deberán ser "pacificados" a un pH < 2 con  $HNO_3$  a menos que se presente una precipitación. Extractos para compuestos orgánicos no deberán entrar en contacto con el aire atmosférico, por ello la importancia que no exista aire en las botellas de almacenamiento.

### 4.4.3 Procedimiento preliminar

La determinación del contenido de agua y de la sustancia seca se realiza con una muestra de 100 g. Para residuos húmedos es necesario que se determine, el contenido de sólidos y del

posible extracto después de una filtración. Para muestras sólidas de debe determinar la necesidad de que sea molida En el caso de que sean materiales húmedos y semilíquidos es necesaria la separación de la fracción sólida a través de filtración o centrifugación con muestras de 100 g. Así mismo la determinación del peso de cada fracción es necesaria y la determinación de la solución de extracción adecuada.

#### 4.4.4 Procedimiento cuando compuestos volátiles no están envueltos

Se toma una muestra mínimo de 100 g SS

Se determina la cantidad de solución a adicionar con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$M_s = \frac{20 * TS * M_M}{100}$$

#### 4.5 Método ASTM D3987-85 (Modified Shake Extraction of Solid Waste)

Extracción de solubles con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub> (Numeral C.2.3, NOM 147-SEMARNAT/SSA-2004).

##### 4.5.1 Introducción

La toxicidad de los elementos químicos en los organismos, incluyendo los elementos normados, depende de su disponibilidad en el ambiente, característica que esta en función principalmente de la solubilidad de la especie química de estos elementos. Por esta razón, se busca medir la fracción extraíble de los elementos bajo condiciones ambientales, la cual está directamente relacionada con la fracción biodisponible que es la fracción reactiva en los organismos vivos.

##### 4.5.2 Alcances

Este método se elaboró con base a la prueba ASTM D 3987-85, pero modificando las características del agua de extracción. El procedimiento consiste en lixiviar suelos con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub> atmosférico (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) y a pH  $\cong$  5.5. De esta manera se obtiene una solución acuosa para analizar los compuestos lixiviados, bajo las condiciones de prueba especificadas en este documento.

El método describe la forma de preparar la solución extractante H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>, la obtención del extracto agitando un peso conocido de suelos con H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>, así como la forma de separar la fase sólida de la acuosa para realizar los análisis de los elementos normados (elementos normados).

La información contenida en el presente documento no intenta ser suficiente para resolver todos los problemas que, en la práctica, se puedan presentar al aplicar este método. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas apropiadas de seguridad y de protección a la salud. Así como determinar las limitaciones analíticas que puedan presentarse en cada caso, resolviéndolas antes de iniciar su aplicación.

### 4.5.3 Definiciones

Extractante: solución que bajo condiciones de laboratorio, es capaz de liberar ciertos constituyentes de los suelos.

Capacidad amortiguadora: se refiere a la capacidad de un sistema químico de mantener el pH en un valor determinado, mediante reacciones ácido-base. En los suelos la capacidad amortiguadora está relacionada con minerales que presentan hidrólisis básicas o ácidas.

Elementos normados (elementos normados): arsénico, berilio, cromo VI, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio.

### 4.5.4 Aplicaciones y limitaciones

El método permite obtener rápidamente un extracto acuoso para estimar la disponibilidad de los elementos normados presentes en los suelos, bajo condiciones de laboratorio especificadas en este documento. No pretende simular el tipo de lixiviado que se produce bajo condiciones específicas de campo.

Así mismo, busca simular las condiciones de extracción, cuando la composición de los componentes de los suelos, es el factor que determina el pH del extracto.

La extracción acuosa señalada en este método refleja la capacidad amortiguadora de los suelos, ya que el pH final del extracto acuoso es el resultado de la interacción del extractante con los componentes de los suelos, los cuales producen reacciones ácidas o básicas.

El extracto obtenido es adecuado para cuantificar los elementos normados. Sin embargo, dado que generalmente las concentraciones solubles de estos elementos normados son bajas, es importante tomar precauciones durante el almacenaje y manejo de las muestras para evitar su contaminación.

El extracto no es adecuado para medir contaminantes orgánicos o compuestos volátiles de naturaleza inorgánica.

Algunos suelos pueden reportar actividad biológica durante la etapa de agitación, por lo que es posible la formación de gases. Sin embargo, este procedimiento y los subsecuentes no consideran el alcance sobre este parámetro. Se sugiere registrar el evento si ocurriera y purgar el gas antes de proceder con la separación sólido – líquido.

### 4.5.5 Equipo

Agitador: se puede utilizar cualquier equipo de agitación que gire sobre su eje central a una velocidad de  $29 \pm 2$  rpm.

Filtro: embudos de vidrio borosilicatado o de acero inoxidable de fondo plano y poroso del mismo material y con membranas de  $0.45 \mu\text{m}$ . Se pueden utilizar jeringas de ultra filtración comerciales. Se recomienda que los embudos sean sometidos a un régimen de lavado antes de usarse, a través de un enjuague con ácido nítrico 0.5 M, seguido por tres enjuagues consecutivos con agua destilada.

Horno de secado: aditado con termorregulador y variabilidad de temperatura de  $\pm 0.5$  %,

Potenciómetro: medidor de pH con una exactitud de  $\pm 0.1$  unidades a  $25^\circ\text{C}$ ,

Balanza analítica: con una sensibilidad de  $\pm 0.1$  g.

Recipientes: en general todos los materiales que se utilicen deben ser seleccionados, pero especialmente los recipientes de tal manera que contengan materiales que reaccionen con los suelos, que la adsorción de los iones presentes en el extracto sea mínima y que sean adecuados para realizar la cuantificación de los elementos normados. Los frascos de agitación deben ser de boca ancha y de vidrio borosilicatado o de politetrafluoroetileno (PTFE).

La capacidad requerida para los recipientes que reciban una muestra con un contenido de sólidos de 140 g es de 4 L y para muestras con un contenido de sólidos de 70 g es de 2 L. Para muestras mayores se utilizan múltiplos de estas medidas, las cuales asegurarán que la muestra sólida más el extractante ocupen aproximadamente entre el 80 y 90% de la capacidad del recipiente.

Los recipientes deben cerrar herméticamente. Si durante la agitación se generan gases que ejerzan presión dentro del frasco, se recomienda abrirlo periódicamente en una campana de extracción. Debe cuidarse que esta operación no afecte el tiempo de agitación señalado por cada procedimiento respectivo.

Los recipientes deben someterse a un lavado antes de usarse, con enjuagues con ácido nítrico 0.5 M, seguido por tres enjuagues consecutivos con agua destilada. Esta instrucción no aplica para aquellos casos en que esta operación afecte al método de cuantificación seleccionado o requiera otro tipo de lavado.

#### **4.5.6 Reactivos**

Agua destilada, HNO<sub>3</sub> (c) grado reactivo.

#### **4.5.7 Muestreo y preservación.**

El muestreo debe realizarse de acuerdo a los criterios señalados en la norma NOM 147. La distribución de los tamaños de las partículas en la muestra debe ser representativa de la granulometría del suelo. Cada muestra de suelo colectada debe prepararse de acuerdo con el Apéndice Normativo B, inciso 2.3 que corresponde a la descripción del muestreo detallado. Las muestras se deben conservar en contenedores apropiados que eviten la contaminación de las mismas, y transportarse tan pronto como sea posible al laboratorio. En ningún caso se le deben agregar sustancias para preservar la muestra.

#### **4.5.8 Registro de información previa en laboratorio**

Registrar los datos que se conozcan sobre las características físicas de la(s) muestra(s) que se va(n) a analizar.

#### **4.5.9 Procedimiento de extracción**

Pesar o tarar el recipiente que se va a utilizar para lixiviar y agitar la muestra. Colocar 70 g de muestra en el recipiente, o un múltiplo de esta cantidad y registrar el peso utilizado.

Preparar la solución extractante (agua-CO<sub>2</sub> a pH = 5.5 ±0.2) de la siguiente manera:

1. Calcular el volumen de agua destilada necesaria para llevar a cabo el total de las extracciones considerando duplicados y un 25% de exceso.

2. Poner a burbujear aire en el agua destilada hasta alcanzar un pH de  $5.5 \pm 0.2$ . En caso de que con el burbujeo de aire no se logre alcanzar fácilmente el pH de  $5.5 \pm 0.2$ , se pueden adicionar pequeños volúmenes de una solución de HCl 0.01 N. La solución extractante se debe utilizar lo más pronto posible. Si el pH es  $< 5.5$  no se requiere ajustar. Registrar el valor del pH  $\pm 0.2$ .

Añadir solución extractante a la muestra de suelos, hasta que se alcance una relación equivalente en mL de solución a 20 veces el peso en gramos del peso de la muestra. Por ejemplo, para 70 g de muestra se requirieren 1 400 mL de solución.

Agitar la mezcla continuamente por  $18 \pm 0.25$  horas a temperatura ambiente. Los frascos del agitador deben tener suficiente capacidad para contener la muestra y el reactivo de extracción, así como cumplir con lo señalado en el numeral 5.7.

La velocidad de agitación recomendada es de  $29 \pm 2$  rpm.

Si durante la agitación de las muestras, se observa la formación de gases, deben seguirse las indicaciones señaladas en el punto 4.6 y registrarlo en el informe. Una vez terminada la agitación, el recipiente se abre y se registra cualquier cambio que se observe en la fracción sólida o en el sobrenadante.

Dejar reposar la muestra durante 5 minutos. Después de este periodo, separar la fase acuosa de los sólidos más pesados por decantación o centrifugación. Después filtrar la mezcla al vacío o presión utilizando una membrana de  $0.45 \mu\text{m}$ . Si la velocidad de filtrado fuera muy lenta, se puede utilizar un filtro menos cerrado, pero este cambio debe reportarse en el informe y se debe tomar en cuenta cuando se realice la cuantificación de los elementos normados.

Medir el pH  $\pm 0.2$  del extracto colectado y registrar el valor. Es conveniente preparar inmediatamente las soluciones para el análisis de cuantificación de los elementos normados. Los extractos ya preparados, se pueden preservar en refrigeración a  $4^\circ\text{C}$  por un período máximo de 14 días. Sin embargo, es recomendable realizar la cuantificación de elementos normados lo más rápidamente posible con espectroscopia de absorción atómica.

Las alícuotas para metales deben acidificarse con ácido nítrico, hasta un pH menor a 2, excepto cuando el método de cuantificación no lo recomiende o se sospeche que pueda causar la pérdida de algún constituyente. Antes de proceder con la acidificación se deben agregar unas gotas de ácido nítrico a una pequeña porción del extracto, y si se observa cualquier indicio de precipitación, no acidificar el resto del extracto y registrar cualquier alteración observada. En este caso es necesario llevar a cabo inmediatamente la cuantificación de elementos normados en el extracto a través de espectroscopia de absorción atómica. Cuantificar los elementos normados en el extracto de acuerdo a los métodos señalados en el apartado C.3 y C.4 de este Apéndice.

#### **4.5.10 Informe**

El informe debe incluir la siguiente información:

- Origen de las muestras, fecha del muestreo y método de preservación.
- Descripción de los suelos incluyendo características físicas, especialmente textura (prueba a tacto).

- pH de la muestra de suelos, de la solución extractante y de la solución obtenida después de la agitación.
- Humedad retenida por la muestra sólida después de la extracción y drenado.
- Todos los cambios realizados respecto a lo recomendado en este método, especialmente en lo que respecta a los pesos utilizados, relaciones sólido: extractante, tiempo y temperatura de secado y tipo de membrana utilizada.
- Observaciones en los cambios presentados en las muestras y lixiviados, y otros comentarios que se consideren importantes.
- Fecha en que se realizó la extracción, método de preservación del extracto y tiempo que se conservó la muestra antes de la cuantificación de los elementos normados.
- El informe final contendrá los datos de esta prueba (numerales 10.1 a 10.6) más los resultados de la cuantificación de los elementos normados.

#### **4.5.11 Control analítico**

Anotar todos los datos en registros y formatos adecuados, y tenerlos siempre disponibles para su consulta e inspección.

Realizar por lo menos un ensayo en blanco por cada 5 extracciones que se lleven a cabo, cuidando de aplicar las mismas condiciones que en las muestras de suelos.

Debido a que no existen materiales estándar de referencia, no es posible medir la exactitud del método. Deben llevarse a cabo un 20% de duplicados del total de muestras. Cuando se analizan pocas muestras se pueden realizar duplicados de cada una de ellas.

## **4.6 Método de extracción con una solución de Lauril Sulfato de Sodio**

### **4.6.1 Área de aplicación**

El método es aplicado para la evaluación de la movilidad de contaminantes orgánicos hidrofóbicos contenidos en residuos, basura y materiales de suelos y en suelos de sitios contaminados, a través de la lixiviación con una solución de agente tensoactivo. El agente tensoactivo que se utiliza es el dodecilo Sulfato de Sodio = Lauril Sulfato de Sodio (SDS) el cual es un detergente suave no ácido y un tensoactivo aniónico.

Los tensoactivos aniónicos se ionizan en solución, pero considerando el comportamiento de sus grupos en solución, el grupo hidrófobo queda cargado negativamente. Están constituidos por una cadena alquílica lineal o ramificada que va de 10 a 14 átomos de carbono, y en su extremo polar de la molécula se encuentra un anión. Representantes de este grupo son derivados del ión sulfato o de sulfonatos como es el dodecil sulfato de sodio o dodecil bencen sulfonato de sodio.

### **4.6.2 Descripción**

El procedimiento corresponde en parte en lo descrito para el método S4. Una muestra de suelo o residuos sólidos (aproximadamente. 100 g de SS) se pesan y son colocados en una botella de cuello ancho. Posteriormente se le agrega 1 L de solución al 0,5 % de dodecil sulfato de sodio (SDS). La botella se agita sobre cabeza, es decir se coloca en un aparato el cual hará girar despacio la botella a lo largo de ella haciendo voltear el material sobre la cabeza o tapa de la botella. La muestra debe mantenerse en movimiento. Una fricción o rompimiento mayor de partículas debe evitarse. Después de 24 h el contenido de la botella debe ser transferido a una botella de centrifugación. La muestra se centrifuga con la solución durante 30 minutos a 10 °C y a 11 000 g. El centrifugado (líquido claro) debe estar libre de partículas suspendidas. Una alícuota del centrifugado debe ser "pipeteada" y transferida un embudo de separación de vidrio. La alícuota debe ser extraída tres veces durante 1 h cada vez, con un volumen de 10 a 20 mL de un solvente orgánico adecuado como puede ser el ciclohexano o el cloroformo. Todos los recipientes e instrumentos a utilizar deben ser enjuagados con el solvente elegido antes de ser utilizados. Las fases orgánicas deben unirse y luego el solvente orgánico debe separarse cuidadosamente por destilación en un matraz redondo. El analito restante con una cantidad definida de solvente es analizado.

### **4.6.3 Preparación de la muestra:**

- Medio de lixiviación: Lauril Sulfato de Sodio (SDS) en solución al 0.5%,
- Tiempo de lixiviación: 24 h,
- Filtración: ninguna, separación por centrifugación,
- Relación sólido – líquido: 1:10,
- Carga mecánica: por agitación.

### **4.6.4 Ventajas**

En comparación con el método S4 los lixiviados resultantes corresponden en su mayoría a contaminantes orgánicos. No se tienen pérdidas por absorción o adsorción en los materiales de filtrado y en los recipientes.

#### 4.6.5 Desventajas y límites

En el suelo el contenido de tensoactivos es muy reducido, de tal manera que las condiciones de prueba no reflejan las condiciones reales del suelo.

#### 4.6.6 Comentarios

En suelos contenidos solventes o promoventes de solución, por ejemplo las sustancias húmicas, ácidos orgánicos o fosfolípidos pueden encontrarse. Soluciones acuosas que contengan estos promoventes de solución tienen una mayor capacidad de desorber y transferir en solución a sustancias hidrofóbicas de las partículas sólidas que el agua pura.

Este método tiene como finalidad describir el peor de los casos (*worst case*), en el cual los contaminantes orgánicos son desorbidos y transportados (lixiviados) con la fase líquida (agua de infiltración) del suelo a los mantos acuíferos. Además, ha sido probado para los HPA, los PCB's y los n-alcanos y es posible que se aplique también para dioxinas.

### 4.7 Método de lixiviación con lisímetros

#### 4.7.1 Área de aplicación

El método de lixiviación en lisímetros se aplica para contaminantes orgánicos poco volátiles (pesados) del suelo y para la evaluación de la posible concentración de contaminantes orgánicos en materiales de suelos bajo condiciones de saturación de agua.

#### 4.7.2 Descripción

Este método utiliza agua potable sin gases. El diámetro de la columna de cristal (D) es  $\geq 5$  cm, el largo (L) de la columna es de 32 cm. Los materiales de las líneas de conducción del agua y lixiviados son de PVC para el agua potable y de acero inoxidable para los lixiviados. El suelo o material de suelos se coloca sobre un filtro de grava de cuarzo. La colocación de la muestra (0.5 Kg de una muestra secada al aire) dentro de la columna vertical ocurre por etapas y se le agrega agua de tal manera que la muestra siempre se halle bajo agua. Después que la muestra haya sido colocada completamente en la columna, se deberá colocar un segundo filtro de grava de cuarzo.

La tasa de flujo debe ser constante y se elegirá de tal manera que el tiempo de contacto del agua con el material de la muestra sea suficientemente amplio, por lo menos 24 h, para permitir el equilibrio de las condiciones físico-químicas, es decir hasta que estén dadas condiciones de equilibrio entre la fracción sorbida y la fracción solubilizada de los contaminantes dentro de la columna. Lo anterior depende de la tasa de flujo de las medidas de la columna y de la porosidad del material ya colocado; puede hacerse a través de una bomba peristáltica (ver Figura 1).

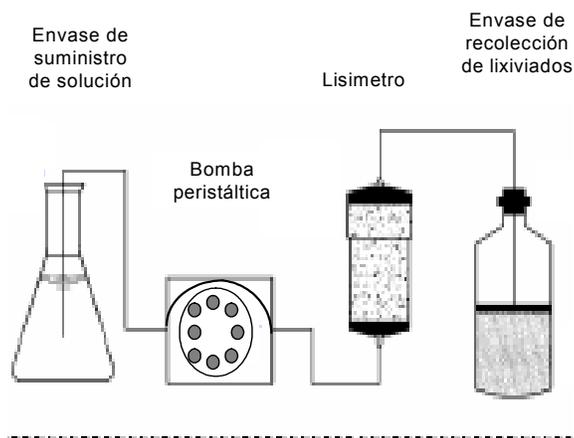
$$F = \frac{V_e * n}{TRH * 60}$$

F: Tasa de flujo en [mL/min]

Ve: Volumen de llenado [mL]

n Porosidad [ - ]

TRH: Tipo de retención hidráulico o tiempo de contacto [min]

**Figura 1.** Sistema de lixiviación con lisímetros

La toma de muestras de los lixiviados, debe comenzarse con el muestreo de estos después de que se hayan cambiado 2 a 3 veces el volumen de porosidad, es decir ( $V_e \times n$ ). En caso de que la turbiedad de los lixiviados después del intercambio de estos volúmenes de agua esté por encima de 10 FNU no deberá de muestrearse. Si la turbiedad del lixiviado no baja de 10 FNU en un periodo mayor entonces el lixiviado se deberá centrifugar y en caso de ser necesario se deberá filtrar con una membrana de fibra de vidrio de  $0.45 \mu\text{m}$  de porosidad. Es probable que ocurra adsorción del lixiviado en la membrana y en el aparato de filtración. El tiempo total de prueba es de una semana.

#### 4.7.3 Preparación de la muestra

- Colocación de muestras no perturbadas sin ninguna preparación. Si se utilizan muestras perturbadas, el material debe homogenizarse,
- Medio de lixiviación: agua potable libre de oxígeno por burbujeo continuo con  $\text{N}_2$ ,
- Tiempo de lixiviación mínima: 5 días,
- pH: no controlado,
- Filtración: ninguna,
- Relación sólido – líquido: 1/3 a 1/16 dependiendo del tiempo de prueba y del tiempo de retención a ser mantenido,
- Carga mecánica: ninguna.

#### 4.7.4 Ventajas

En comparación con otros métodos de lixiviación con esta prueba se simula muy bien el comportamiento de lixiviación bajo condiciones reales del subsuelo.

#### 4.7.5 Desventajas y límites

El área de aplicación es limitada pues solo se aplica a contaminantes no volátiles y a suelos con las texturas arenosas o limosas, así como materiales o residuos con esas características. La fracción fina del material (con  $D \leq 63\mu\text{m}$ ) debe ser como máximo 70% del total del material; el contenido de arcilla (con  $D \leq 2 \mu\text{m}$ ) no debe ser mayor a 2 %. Su aplicación se limita a suelos y materiales contaminados con orgánicos que contengan HPA.

## 4.8 Centrifugación para obtención o recuperación de solución de suelos

### 4.8.1 Área de aplicación

La centrifugación es un método físico de separación y por ello no es considerada como un método de lixiviación. La solución obtenida por centrifugación se encuentra en equilibrio químico con el agua capilar y con el agua adherida en las partículas de suelos y representa la solución con concentraciones semejantes a la de infiltrados o lixiviados de suelos.

También se aplica para la obtención de solución de poros de suelos de la franja no saturada de suelos para la determinación del contenido de sustancias inorgánicas.

### 4.8.2 Descripción

La obtención de las muestras se realizara por medio de perforación seca con un vial o "Liner". El núcleo con la muestra debe ser conservada de tal manera que no haya infiltraciones de aire, el aislamiento debe ser a prueba de gases. La muestra debe enfriarse de inmediato a temperaturas entre 8 y 10 °C, y se deberá conservar y transportar de esta manera hasta su análisis. Es recomendable que la preparación y el análisis sean a más tardar en una semana. A partir del núcleo de perforación se podrán separar varias muestras para su centrifugación.

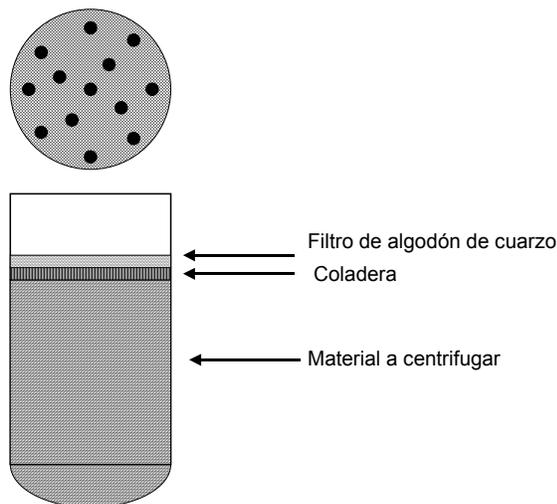
Del núcleo de perforación se podrán utilizar aproximadamente 2 Kg de muestra para cada centrifugación. El material se colocara en tubos de centrifugación adecuados. El material se coloca en tubo de centrifugación (aproximadamente 1000 mL de volumen) el cual tiene en la parte inferior una cavidad para captar los lixiviados. El material se coloca sobre una coladera con una capa de algodón de cuarzo con el fin de retener las partículas pequeñas del suelo (Figura 2). La muestra debe ponerse en el recipiente y pesarse lo más exacto posible (a  $\pm 0.1$  mg de exactitud). Las muestras se centrifugan durante 30 minutos a 2500 g según el tipo de suelos. Tanto la muestra como el centrifugado se pesan por separado y se hace un balance de masa para cuantificar las pérdidas como pueden ocurrir por evaporación. Al material ya centrifugado se le deberá determinar el contenido de agua residual. De manera general, se pueden obtener entre 2 a 50 mL de solución por cada 2 Kg de suelos centrifugados.

### 4.8.3 Preparación de la muestra

- Preparación previa de la muestra: ninguna,
- pH: no controlado, para algunos casos se indica la determinación del pH en el centrifugado, por ejemplo para los metales pesados,
- Filtrado: se aplica filtración de membrana con porosidades de 0.45  $\mu\text{m}$ . Cuando se presenten dificultades por coloides se puede usar una membrana con una porosidad de 0.1  $\mu\text{m}$ ,
- Carga mecánica: ninguna.

### 4.8.4 Ventajas

La concentración en el centrifugado corresponde lo más cercano a las condiciones naturales del agua en los poros del suelo. La relación natural sólido – líquido del suelo es mantenida la más cercano posible a la realidad. El valor de pH corresponde también a lo más cercano a la realidad bajo las condiciones naturales.

**Figura 2.** Tubo de centrifuga con muestra

#### 4.8.5 Desventajas y límites

Si la cantidad de centrifugado obtenido es muy reducida es posible realizar solo un análisis limitado de la concentración de los contaminantes. Debido a las posibles y necesarias diluciones del centrifugado se elevan los rangos o límites de determinación de los métodos de análisis. La centrifugación no es adecuada para suelos con gran plasticidad y adherencia como son los suelos con texturas arcillosas y arcillosas-limosas.

### 4.9 Método analítico para determinar la bioaccesibilidad del plomo

#### 4.9.1 Área de aplicación

Este método describe el procedimiento de laboratorio *in vitro* para determinar la bioaccesibilidad del plomo de suelos y residuos sólidos. Así mismo, se proporciona un programa de aseguramiento de calidad que deberá seguirse para el desarrollo del procedimiento de extracción.

#### 4.9.2 Preparación de la muestra

Todas las muestras de suelo o material deberán secarse en estufa (<40 °C) y tamizarse a < 250  $\mu\text{m}$ . Se usa la fracción del tamaño de < 250  $\mu\text{m}$  porque corresponde a un tamaño de partícula representativo de la que se adhiere en las manos de los niños. Se deben obtener submuestras para probar este procedimiento utilizando un separador de muestra.

#### 4.9.3 Materiales y equipo

La pieza clave del equipo requerido para este método consiste en un motor extractor para el Procedimiento de Caracterización de la Toxicidad del Lixiviado (TCLP; por sus siglas en inglés), el cual ha sido modificado con un volante de transmisión. Este volante maneja un bloque de

Plexiglass situado a un costado del baño de agua con temperatura controlada. El bloque de Plexiglass contiene 10 perforaciones de 5 cm con tornillos a presión de acero inoxidable, cada uno de los cuales está diseñado para sostener un frasco de boca ancha de polietileno de alta densidad (HDPE). El baño de agua se debe llenar de tal forma que los frascos de la extracción estén sumergidos. La temperatura en el baño de agua se mantiene a  $37 \pm 2$  °C usando un calentador de inmersión de recirculación (por ejemplo, Fisher Scientific Modelo 730). Equipo adicional para este método se encuentra en cualquier laboratorio, los suministros y reactivos serán descritos en las siguientes secciones.

Los frascos de 125 mL HDPE deben tener un tapón de sello hermético (por ejemplo, Fisher Scientific 125 mL HDPE boca ancha Cat. No. 02-893-5C), y se debe cuidar en asegurar que los frascos no tengan fugas durante el procedimiento de extracción.

#### 4.9.4 Estándares y reactivos

El procedimiento de lixiviado para este método incluye la extracción de una solución amortiguada a un pH de 1.5. La solución de extracción se prepara utilizando agua destilada (DI) ASTM Tipo II. En 1.9 L de agua destilada, se agregan 60.06 g de glicina (base libre, Ultra Sigma o equivalente). La mezcla se pone en un baño de agua a 37°C hasta que el fluido de extracción alcance 37 °C. Es necesario estandarizar el pHmetro usando compensación de temperatura a 37 °C o manteniendo el buffer a 37 °C en el baño de agua y llevar la solución a un pH de  $1.50 \pm 0.05$  Agregando HCl a 12.1N, para lo cual se requieren aproximadamente 120 mL del ácido. La solución se lleva a un volumen final de 2 L (0.4 M glicina).

La limpieza de todos los reactivos y equipos usados para preparar y/o guardar el fluido de extracción es esencial. Todos los materiales de vidrio y equipos usados para preparar estándares y reactivos deben ser limpiados adecuadamente con ácido y finalmente enjuagados con agua DI antes de ser usados. Todos los reactivos deberán estar libres de los analitos a analizar (Pb) y el fluido final deberá ser probado para comprobar que la concentración de Pb es menor que 25 µg/L.

#### 4.9.5 Procedimiento de lixiviación

Tomar una muestra de  $100 \pm 0.5$  mL de la solución de extracción, usando una probeta graduada y transferirla a un frasco de boca ancha HDPE de 125 mL. Agregar  $1.00 \pm 0.05$  g de la prueba de sustrato (< 250µm) al frasco, asegurándose de que no hay electrostática, ya que esto ocasiona que las partículas se adhieran a la boca o al enroscado del bote. Si es necesario, usar una brocha anti-estática para eliminar la electricidad estática antes de agregar la muestra. Registrar el volumen de la solución y la masa del suelo agregado al bote en la hoja de prueba de la extracción. Sostener la parte superior de cada botella, e invertir o mezclar para asegurarse de que no halla escurrimiento y que la tierra no este apelmazada en el fondo de la botella.

Poner el frasco en el extractor modificado TCLP, comprobar que cada frasco esté seguro y que las tapas estén bien cerradas. Llenar el extractor con frascos de 125 mL que contengan los materiales de prueba o muestras con control de calidad.

La temperatura del baño de agua debe ser de  $37 \pm 2$  °C. Registrar la temperatura del baño de agua al comienzo y al final de cada extracción *batch* en la lista de prueba de extracción apropiada.

Rotar el extractor con vueltas completas de  $30 \pm 2$  rpm durante 1 h. Cuando la extracción (rotación) esté completa, remover inmediatamente las botellas, secarlas, y ponerlas volteadas en la parte superior del banco.

Tomar el extracto directamente del recipiente de reacción con una jeringa de 20cc desechable aditada con un dispositivo para filtrar. El sistema de filtración puede consistir de filtros de acetato de celulosa de  $0.45\mu\text{m}$  (25 mm de diámetro) colocados sobre porta filtros redondo. Filtrar el extracto y colocar en un tubo de polipropileno 15 mL para centrífuga o en otro frasco apropiado para muestras de análisis. Guardar las muestras filtradas en refrigeración a  $4^\circ\text{C}$  hasta que sean analizadas.

Registrar el tiempo cuando se haya completado la filtración del extracto, es decir cuando se pare la extracción. Si el tiempo total transcurrido es mayor de 1.5 h, la prueba debe repetirse.

Medir y registrar el pH del fluido que queda en el frasco de extracción. Si el pH de la solución varía en  $\pm 0.5$  unidades respecto al pH inicial, la prueba debe ser descartada y la muestra reanalizada como se describe a continuación.

Si el pH es menor de 0.5 unidades, la prueba se volverá a correr en forma idéntica. Si la segunda prueba también tiene como resultado una disminución de pH mayor de 0.5 unidades, registrar el pH y filtrar el extracto para su análisis. En cambio, si el pH es mayor de en 0.5 unidades o más, la prueba se debe repetir deteniendo el extractor a los 5, 10, 15, 30 y 60 minutos de la extracción; ajustar el pH manualmente por debajo de 1.5 unidades, adicionando unas gotas de HCl concentrado. Las muestras con valores aumentados de pH se deben correr en una extracción separada, y no combinar con las muestras extraídas con el método estándar (extracción continua). Los extractos se deben analizar usando procedimientos analíticos mencionados en esta norma.

#### **4.9.6 Cálculo del valor de bioaccesibilidad**

Analizar la concentración total de plomo a una muestra de cada material sólido ( $< 250 \mu\text{m}$ ) que haya sido sometido a este procedimiento de extracción usando los procedimientos analíticos mencionados en esta norma. La bioaccesibilidad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Valor de la Bioaccesibilidad} = \frac{\text{Concentracion del extracto in - vitro [ mg / L ] x 0.1 L}}{\text{Concentracion en sólido [ mg / Kg ] x 0.001 Kg}}$$

Es necesario incluir en el informe toda la memoria de cálculo.

### **4.10 Extracción de solubles con agua en equilibrio con $\text{CO}_2$**

#### **4.10.1 Introducción**

La toxicidad de los elementos químicos en los organismos, incluyendo los elementos normados, depende de su disponibilidad en el ambiente, la cual principalmente está en función de la solubilidad de la especie química de estos elementos. Por esta razón actualmente se busca medir la fracción extraíble de los elementos bajo condiciones ambientales, la cual además, está directamente relacionada con la fracción biodisponible que es la reactiva dentro de los organismos vivos.

#### **4.10.2 Alcances**

Este método se elaboró con base en la prueba ASTM D 3987-85, modificando las características del agua de extracción. Este es un procedimiento para lixiviar suelos con agua en equilibrio con CO<sub>2</sub> atmosférico (H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>) a pH  $\cong$  5.5 y obtener una solución acuosa para analizar los compuestos lixiviados, bajo las condiciones de prueba especificadas en este documento.

Este método describe la forma de preparar la solución extractante H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>, la obtención del extracto agitando un peso conocido de suelos con H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>, así como la forma de separar la fase sólida de la acuosa para realizar los análisis de los elementos normados (elementos normados).

La información contenida en este documento no intenta ser suficiente para resolver todos los problemas que, en la práctica, se puedan presentar al aplicar este método. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y de protección a la salud apropiadas y determinar las limitaciones analíticas que puedan presentarse en cada caso, resolviéndolas antes de iniciar su aplicación.

#### **4.10.3 Definiciones**

Extractante. Solución capaz de liberar ciertos constituyentes de los suelos, bajo condiciones de laboratorio.

Capacidad amortiguadora. Se refiere a la capacidad de un sistema químico de mantener el pH en un valor determinado, mediante reacciones ácido-base. En los suelos la capacidad amortiguadora está relacionada con minerales que presentan hidrólisis básicas o ácidas.

#### **4.10.4 Aplicaciones y limitaciones**

Este método permite obtener rápidamente un extracto acuoso para estimar la disponibilidad de elementos normados, presentes en los suelos, bajo condiciones de laboratorio especificadas en este documento. No pretende simular el tipo de lixiviado que se produce bajo condiciones específicas de campo.

Este método busca simular las condiciones de extracción, cuando la composición de los componentes de los suelos, es el factor que determina el pH del extracto.

La extracción acuosa señalada en este método refleja la capacidad amortiguadora de los suelos, ya que el pH final del extracto acuoso es el resultado de la interacción del extractante con los componentes de los suelos que producen reacciones ácidas o básicas.

El extracto obtenido es adecuado para cuantificar los elementos normados; sin embargo, dado que generalmente las concentraciones solubles de estos elementos normados son bajas, es de especial importancia tomar precauciones durante el almacenaje y manejo de las muestras para evitar su contaminación.

El extracto no es adecuado para medir contaminantes orgánicos o compuestos volátiles de naturaleza inorgánica.

#### 4.10.5 Equipo

- Agitador. Se puede utilizar cualquier equipo de agitación que gire sobre su eje central a una velocidad de  $29 \pm 2$  rpm,
- Filtro. Embudos de vidrio borosilicatado o de acero inoxidable de fondo plano y poroso del mismo material con membranas de  $0.45 \mu\text{m}$ . Se pueden utilizar jeringas de ultra filtración comerciales. Los embudos deben someterse a un lavado ácido antes de usarse, enjuagando con ácido nítrico 0.5 M seguido por tres enjuagues consecutivos con agua destilada,
- Horno de secado con una estabilidad de la temperatura de  $\pm 0.5$  %,
- Potenciómetro: Medidor de pH con una exactitud de  $\pm 0.1$  unidades a  $25^\circ\text{C}$ ,
- Desecador,
- Balanza analítica con una sensibilidad de  $\pm 0.1$  g,
- Recipientes. En general todos los materiales que se utilicen, pero especialmente los recipientes se deben seleccionar para que: a) no reaccionen con los suelos, b) minimicen la sorción de los iones presentes en el extracto y c) sean adecuados para realizar la cuantificación de elementos normados. Los frascos de agitación deben de ser vidrio borosilicatado o de politetrafluoroetileno (PTFE) y tener boca ancha.

La capacidad requerida para los recipientes que reciban una muestra con un contenido de sólidos de 140 g es de 4 L y para muestras con un contenido de sólidos de 70 g de 2 L. Para muestras mayores se utilizan múltiplos de estas medidas, las cuales aseguran que, la muestra sólida más el extractante ocupen aproximadamente entre el 80 y 90% de la capacidad del recipiente.

Los recipientes deben cerrarse herméticamente. Si durante la agitación se generan gases que ejerzan presión dentro del frasco, se recomienda abrirlo periódicamente en una campana de extracción. Debe cuidarse que esta operación no afecte el tiempo de agitación señalado por cada procedimiento respectivo.

Los recipientes deben someterse a un lavado ácido antes de usarse, enjuagándolos con ácido nítrico 0.5 M seguido por tres enjuagues consecutivos con agua destilada. Esta instrucción no aplica para aquellos casos en que esta operación afecte al método de cuantificación seleccionado o requiera otro tipo de lavado.

#### 4.10.6 Reactivos

Agua destilada,  $\text{HNO}_3$  (c) grado reactivo.

#### 4.10.7 Muestreo y preservación.

El muestreo debe realizarse de acuerdo a los criterios señalados en esta norma. La distribución de los tamaños de las partículas en la muestra debe ser representativa de la granulometría del suelo.

Cada muestra de suelo colectada debe tener un peso de aproximadamente 2 Kg, y debe prepararse con un mínimo de 5 incrementos (submuestras tomadas a diferentes tiempos) y de acuerdo con el anexo normativo A, inciso 2.3. Muestreo de detalle.

Las muestras se deben conservar en contenedores apropiados que eviten la contaminación de las mismas, y transportarse tan pronto como sea posible al laboratorio. En ningún caso se le deben agregar sustancias para preservar la muestra.

#### **4.10.8 Registro de información previa en laboratorio**

Registrar los datos que se conozcan sobre las características físicas de la(s) muestra(s) que se va(n) a analizar.

#### **4.10.9 Procedimiento de extracción**

Pesar o tarar el recipiente que se va a utilizar para lixiviar y agitar la muestra. Colocar 70 g de muestra en el recipiente, o un múltiplo de esta cantidad y registrar el peso utilizado. Preparar la solución extractante (agua-CO<sub>2</sub> a pH = 5.5 ± 0.2):

- a. Calcular el volumen de agua destilada necesaria para llevar a cabo el total de las extracciones considerando duplicados y un 25% de exceso,
- b. Burbujear aire en el agua destilada hasta alcanzar un pH de 5.5 ± 0.2. En caso de que burbujear aire no se logre alcanzar fácilmente el pH de 5.5 ± 0.2, se pueden adicionar pequeños volúmenes de una solución de HCl 0.01 N. La solución extractante se debe utilizar lo más pronto posible. Si el pH es < 5.5 no se requiere ajustarlo. Registrar el valor del pH ± 0.2.

Añadir solución extractante a la muestra de suelos, hasta que se alcance una relación equivalente en mL de solución a 20 veces el peso en gramos del peso de la muestra. Por ejemplo, para 70 g de muestra se requieren 1,400 mL de solución.

Agitar la mezcla continuamente por 18 ± 0.25 horas a temperatura ambiente. Los frascos del agitador deben tener suficiente capacidad para contener la muestra y el reactivo de extracción, así como cumplir con lo señalado en el numeral 5.7.

La velocidad de agitación recomendada es de 29 ± 2 rpm.

Si durante la agitación de las muestras, se observa la formación de gases deben seguirse las indicaciones señaladas en el punto 5.5.3 y registrarlo en el informe.

Terminada la agitación, abrir el recipiente y registrar cualquier cambio que se observe en la fracción sólida o en el sobrenadante.

Dejar reposar la muestra durante 5 minutos. Después de este periodo se debe separar la fase acuosa de los sólidos más pesados por decantación o centrifugación. Después filtrar la mezcla al vacío o presión utilizando una membrana de 0.45 µm. Si la velocidad de filtrado fuera muy lenta, se puede utilizar un filtro menos cerrado, pero este cambio debe reportarse en el informe y se debe tomar en cuenta cuando se realice la cuantificación de elementos normados.

Medir el pH ± 0.2 del extracto colectado y registrar el valor. Conviene preparar inmediatamente las soluciones para el análisis de cuantificación de los elementos normados. Los extractos ya preparados (numeral 9.2.11), se pueden preservar en refrigeración a 4°C por un período máximo de 14 días. Sin embargo, es recomendable realizar la cuantificación de elementos normados lo más rápidamente posible.

Las alícuotas para metales deben acidificarse con ácido nítrico, hasta un pH menor a 2, excepto cuando el método de cuantificación no lo recomiende o se sospeche que pueda causar la pérdida de algún constituyente. Preliminarmente a la acidificación se deben agregar unas gotas de ácido nítrico a una pequeña porción del extracto, y si se observa cualquier indicio de precipitación, no se acidifica el resto del extracto. En este caso, es necesario llevar a cabo inmediatamente la cuantificación de elementos normados en el extracto.

Cuantificar los elementos normados en el extracto de acuerdo a los métodos señalados en el apartado B.3 y B.4 de este anexo.

#### **4.10.10 Informe**

El informe debe incluir lo siguiente:

- Origen de las muestras, fecha del muestreo y método de preservación,
- Descripción de los suelos incluyendo características físicas, especialmente textura (prueba a tacto),
- pH de la muestra de suelos, de la solución extractante y de la solución obtenida después de la agitación,
- Humedad retenida por la muestra sólida después de la extracción y drenado,
- Todos los cambios realizados respecto a lo recomendado en este método, especialmente en lo que respecta a los pesos utilizados, relaciones sólido: extractante, tiempo y temperatura de secado y tipo de membrana utilizada,
- Observaciones en los cambios presentados en las muestras y lixiviados, y otros comentarios que se consideren importantes,
- Fecha en que se realizó la extracción, método de preservación del extracto y tiempo que se conservó la muestra antes de la cuantificación de elementos normados,
- El informe final contendrá los datos de esta prueba (numerales 10.1 a 10.6) más los resultados de la cuantificación de elementos normados.

#### **4.10.11 Control Analítico**

Anotar todos los datos en registros y formatos adecuados, y tenerlos siempre disponibles para su consulta e inspección.

Realizar por lo menos un ensayo en blanco por cada 5 extracciones que se lleven a cabo, cuidando de aplicar las mismas condiciones que en las muestras de suelos.

Como no existen materiales estándar de referencia, no es posible medir la exactitud del método. Deben llevarse a cabo un 20% de duplicados del total de muestras. Cuando se analizan pocas muestras se pueden realizar duplicados de cada una de ellas.

