Serie: Atlas Nacional de Riesgos

Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

Fenómenos Químicos

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCION CIVIL

CENAPRED

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN

Lic. Carlos María Abascal Carranza
Secretario de Gobernación

Lic. Laura Gurza Jaidar
Coordinadora General de Protección Civil

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

M. en I. Roberto Quaas Weppen
Director General

M. en C. Carlos Gutiérrez Martínez
Director de Investigación

Ing. Enrique Guevara Ortiz
Director de Instrumentación

Lic. Gloria Luz Ortiz Espejel
Directora de Capacitación

M. en I. Tomás A. Sánchez Pérez
Director de Difusión

Profra. Carmen Pimentel Amador
Directora de Servicios Técnicos

1ª edición, noviembre 2006

©SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN
Abraham González Núm. 48,
Col. Juárez, Deleg. Cuauhtémoc,
C.P. 06699, México, D.F.

©CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES
Av. Delfín Madrigal Núm. 665,
Col. Pedregal de Santo Domingo,
Deleg. Coyoacán, C.P.04360, México, D.F.
Teléfonos:
(55) 54 24 61 00
(55) 56 06 98 37
Fax: (55) 56 06 16 08
e-mail: editor@cenapred.unam.mx
www.cenapred.unam.mx

©Autores:

Identificación de peligros y riesgos químicos
Rubén Darío Rivera Balboa, María Esther Arcos Serrano, Cecilia Izcapa Treviño y Enrique Bravo Medina

Identificación y evaluación de sitios contaminados
Cecilia Izcapa Treviño, María Esther Arcos Serrano, Liliana Bernabé Espinosa, Rubén Darío Rivera Balboa y Enrique Bravo Medina

Estimación simplificada de la amenaza por incendio forestales
Edgar Arturo Muñoz, Lucrecia Torres, Oscar Zepeda, Erandi Andrade y Liliana López

Revisores: Tomás A. Sánchez Pérez y Carlos Gutiérrez Martínez

ISBN: 970-628-903-8

Edición: La edición estuvo a cargo de los autores bajo la coordinación de
Violeta Ramos Radilla
Portada: María José Aguas Ovando y Demetrio Vázquez Sánchez

Derechos reservados conforme a la ley
IMPRESO EN MÉXICO. *PRINTED IN MEXICO*
Distribución Nacional e Internacional: Centro Nacional de Prevención de Desastres

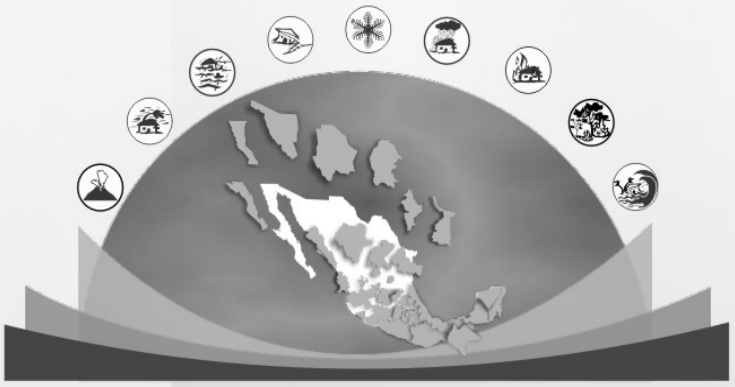
EL CONTENIDO DE ESTE DOCUMENTO ES EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE LOS AUTORES

AR

Serie: Atlas Nacional de Riesgos

Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos

Fenómenos Químicos



SISTEMA NACIONAL DE PROTECCION CIVIL

MEXICO CENAPRED

CONTENIDO

PRÓLOGO 5

PRESENTACIÓN 9

I IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS QUÍMICOS

RESUMEN 11

1.1 INTRODUCCIÓN 11
- 1.1.1 Accidentes con sustancias químicas 11
- 1.1.2 Efectos de los accidentes con sustancias químicas 12

1.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y ANÁLISIS DE RIESGOS QUÍMICOS 12
- 1.2.1 Atlas de riesgo 12
- 1.2.2 Identificación de peligros a nivel municipal 12
- 1.2.3 Análisis de riesgo 17

1.3 DETERMINACIÓN DE ZONAS VULNERABLES 23

1.4 RECURSOS PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS 23

1.5 MAPAS DE PELIGRO Y DE RIESGO 25
- 1.5.1 Información básica 25
- 1.5.2 Procedimientos para la elaboración de mapas de peligros 26
- 1.5.3 Ejemplo de aplicación del “Procedimiento para la elaboración del mapa de peligro debido al almacenamiento de sustancias peligrosas” 43

1.6 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES 48

GLOSARIO 65

BIBLIOGRAFÍA 68

II IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y DEL SUELO 71
- 2.1.1 Contaminación del agua 71
- 2.1.2 Contaminación del suelo 74
- 2.1.3 Residuos peligrosos en México 77
- 2.1.4 Efectos en la salud humana por sitios contaminados 80

2.2 EVALUACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS 82
- 2.2.1 Consideraciones legales aplicables al reconocimiento o evaluación de un sitio 82
- 2.2.2 Proceso de evaluación de un sitio 84
- 2.2.3 Documentación de la evaluación 92
- 2.2.4 Determinación del nivel de riesgo para la evaluación preliminar 96
- 2.2.5 Ubicación de sitios contaminados con sustancias o materiales peligrosos en un mapa de riesgos 102
- 2.2.6 Reporte de evaluación del sitio 102

2.3 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO 106
- 2.3.1 Introducción 106
- 2.3.2 Muestreo representativo del suelo 106
- 2.3.3 Tipos de contaminación más comunes en el suelo 116
- 2.3.4 Límites máximos permisibles de contaminantes en el suelo 117

2.4 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA 119
2.4.1 Introducción 119
2.4.2 Legislación en México y programas gubernamentales 119
2.4.3 Determinación de las causas de contaminantes de los sistemas acuáticos 119
2.4.4 Evaluación del grado de contaminación de un cuerpo receptor 121
2.4.5 Agua subterránea 133

2.5 CONCIENTIZACIÓN DE LA POBLACIÓN 136
2.5.1 Introducción 136
2.5.2 Evaluación de impactos ambientales en las ciudades 137
2.5.3 Comunicación de riesgo hacia la comunidad 138
2.5.4 Programas ambientales implementados por la comunidad 141

GLOSARIO 144

BIBLIOGRAFÍA 145

III. ESTIMACIÓN SIMPLIFICADA DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

RESUMEN 147
OBJETIVOS 147

3.1 INTRODUCCIÓN 147
3.1.1 Definiciones y conceptos básicos (CENAPRED) 148

3.2 ESTUDIO Y MONITOREO DE INCENDIOS FORESTALES 151
3.2.1 Sistema de información de incendios forestales (SEMARNAT) 151
3.2.2 Programa para la detección de puntos de calor (CONABIO) 152
3.2.3 Sistema para la detección y seguimiento de incendios forestales (SMN) 153

3.3 VARIABLES QUE DETERMINAN LA AMENAZA DE UN INCENDIO FORESTAL 154

3.4 MODELOS EXISTENTES PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO 158

3.5 DESCRIPCIÓN DEL MODELO SELECCIONADO 160
3.5.1 Determinación del área de estudio 162
3.5.2 Determinación del componente de combustibles forestales (C_{CF}) 163
3.5.3 Obtención del componente meteorológico (C_M) 169
3.5.4 Obtención de la componente de causa (C_C) 173
3.5.5 Integración de criterios 176
3.5.6 Determinación del índice de peligro por incendios forestales *(IPIF)* 177

CONCLUSIONES 178

GLOSARIO 179

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 182

AGRADECIMIENTOS 184

PRÓLOGO

En la agenda nacional de la protección civil, la prevención de desastres ha tomado una gran relevancia, debido principalmente a la diversidad de fenómenos que pueden causar desastres en nuestro territorio. Así, se reconoce la importancia de establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos, y no sólo focalizar recursos para la atención de las emergencias y la reconstrucción.

Sin duda en los últimos años se ha avanzado en este sentido; sin embargo, los logros son aún insuficientes y es indispensable invertir más recursos para transitar lo más pronto posible de un esquema fundamentalmente reactivo a uno preventivo. Esta nueva filosofía permitirá garantizar no sólo una sociedad más preparada y segura, sino un país menos vulnerable frente a los fenómenos potencialmente destructivos, sean éstos de origen natural o antropogénico.

La estrategia de la prevención establece tres pasos fundamentales. Primero, conocer los peligros y amenazas para saber dónde, cuándo y cómo nos afectan. Segundo, identificar y establecer en el ámbito nacional, estatal, municipal y comunitario, las características y los niveles actuales de riesgo ante esos fenómenos. Por último, diseñar acciones y programas para mitigar y reducir oportunamente estos riesgos a través del reforzamiento y adecuación de la infraestructura, mejorando normas y procurando su aplicación, y finalmente, preparando e informando a la población para que sepa cómo actuar antes, durante y después de una contingencia.

Modernas tecnologías, combinadas con nuevas visiones y esquemas de coordinación y comunicación, permiten ahora monitorear y detectar muchos de los fenómenos perturbadores y prevenir anticipadamente sus efectos, facilitando la toma de decisiones y la implementación de medidas para disminuir sus efectos, particularmente en evitar la pérdida de vidas humanas. Esta transición hacia la prevención se ha sustentado fundamentalmente en el conocimiento sobre el origen, manifestación e impacto de los fenómenos. Este conocimiento permite actuar para algunos fenómenos en forma temprana, con más eficacia operativa, buscando minimizar la pérdida de vidas humanas y bienes materiales. Sin embargo, apenas se han dado los primeros pasos en la prevención, aunque firmes, de ninguna manera son suficientes. El siguiente paso decidido que se tiene que dar es en la valoración más rigurosa del riesgo.

Equivocadamente se tiene la percepción de que los desastres se deben exclusivamente a los peligros. Se suele señalar, por ejemplo, al huracán o al sismo como el responsable de las pérdidas durante un desastre o emergencia. En realidad es la sociedad en su conjunto la que se expone con su infraestructura física, organización, preparación y cultura característica al encuentro de dichos fenómenos, manifestando usualmente diversos grados de vulnerabilidad en estos aspectos. Se concluye por tanto, que los desastres no son naturales, es decir, son producto de condiciones de vulnerabilidad y exposición derivados en gran medida por aspectos socioeconómicos y de desarrollo no resueltos, como elevados índices de construcciones informales, marginación, pobreza, escaso ordenamiento urbano y territorial, entre otros.

Hablar de prevención necesariamente es hablar de riesgo. Los desastres se dan por la presencia de una condición de riesgo, como resultado de la acción de un fenómeno perturbador sobre un bien expuesto.

El riesgo de desastres, entendido como la probabilidad de pérdida, depende de dos factores fundamentales que son el peligro y la vulnerabilidad. Comprender y cuantificar los peligros, evaluar la vulnerabilidad y con ello establecer los niveles de riesgo, es sin duda el paso decisivo para establecer procedimientos y medidas eficaces de mitigación para reducir sus efectos. Es por ello prioritario desarrollar herramientas y procedimientos para diagnosticar los niveles de peligro y de riesgo que tiene nuestro país a través de sistemas organizados de información como se plantea en la integración del Atlas Nacional de Riesgos, ANR, basado éste en los atlas estatales y municipales.

Como brazo técnico del Sistema Nacional de Protección Civil, al Centro Nacional de Prevención de Desastres se le ha encomendado el desarrollo del ANR. Éste se concibe como una herramienta estratégica que permita la integración de información sobre peligros y riesgos a nivel estatal y municipal en una plataforma informática homogénea, dinámica y transparente.

Por analogía con un atlas geográfico, el ANR pudiera entenderse como un conjunto de mapas o cartas encuadernadas en un voluminoso libro que muestra de una manera gráfica información de peligro o amenaza para una cierta área o región. El primer atlas que se publicó en 1994 por la Secretaría de Gobernación, tenía estas características el cual fue ampliado en 2000 por el Cenapred en una publicación más completa con un diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México.

El riesgo es una variable muy compleja y continuamente cambiante en el tiempo que es función de la variabilidad de las amenazas que nos circundan y de la condición también dinámica de la vulnerabilidad y grado de exposición. Por tanto, para la mayoría de los fenómenos, no es posible representar al riesgo mediante una simple gráfica o mapa, éste debe ser estimado de acuerdo con las circunstancias y condiciones específicas del lugar o área de interés. Por lo anterior, conceptualmente el ANR ha evolucionado de un conjunto estático de mapas, a un sistema integral de información sobre riesgos de desastres, empleando para ello bases de datos, sistemas de información geográfica, cartografía digital, modelos matemáticos y herramientas para visualización, búsqueda y simulación de escenarios de pérdidas.

Bajo este nuevo enfoque, el Cenapred continúa promoviendo diversas investigaciones y publicaciones vinculadas con el Atlas Nacional de Riesgos con el objetivo de trasmitir a los usuarios, particularmente del ámbito de la protección civil, información y orientación relativos a los avances, conocimientos y desarrollos tecnológicos en la materia. Busca asimismo, guiar a los interesados en el tema sobre cómo proceder metodológicamente para establecer sus atlas locales y motivándolos a utilizarlos como un instrumento cotidiano de trabajo y consulta, indispensable para valorar el riesgo y establecer las medidas de mitigación y preparación necesarias.

En este sentido, el presente documento encabeza una nueva serie de publicaciones titulada “Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos” que engloba, como su nombre lo indica, diversas herramientas metodológicas para orientar y ayudar a evaluar los peligros y riesgos a los que estamos expuestos. En este primer conjunto de publicaciones se discuten y analizan conceptos generales sobre riesgos y cartografía, evaluación de la vulnerabilidad y análisis de peligros y riesgos de algunos fenómenos geológicos, hidrometeorológicos y también químicos. Estos documentos integran las recientes experiencias y trabajos de investigación desarrollados en el Centro, así como revisiones y ampliaciones de documentos anteriores.

Los documentos son una contribución orientada a clarificar conceptos, formular esquemas sencillos y accesibles utilizando un lenguaje lo menos técnico posible, para que los usuarios integren, paso a paso y con metodologías uniformes, información sobre algunos de los principales

peligros y riesgos a los que están expuestos en sus entidades. Por la complejidad y gran variedad de fenómenos que integra un atlas que se pretende tenga una cobertura nacional; muchos de éstos se irán incorporando en futuros documentos conforme se avance en las investigaciones y se desarrollen las bases metodológicas que faciliten posteriormente su aplicación en forma sistemática. Es necesario tomar en cuenta que los trabajos que se presentan por las distintas áreas del Centro, en su mayoría son novedosos y pioneros, como es el tema del Atlas Nacional de Riesgos, integrado como rompecabezas por los atlas estatales y municipales, considerada herramienta central de una Protección Civil preventiva en el que México, sin lugar a duda, está haciendo un trabajo innovador y de vanguardia.

El paso importante que ahora habrá que dar con estas guías, es integrar grupos locales de trabajo para aplicar y calibrar las metodologías, quizá a través de proyectos piloto y retroalimentar con la experiencia de campo a los especialistas que las diseñaron. De lograrse esta dinámica, se habrán dado pasos firmes para avanzar en la unificación de criterios para la integración de los atlas municipales, luego estatales y finalmente el atlas a nivel nacional.

Este Centro seguirá trabajando intensamente en la consecución del Atlas Nacional de Riesgos, proyecto sin duda toral y estratégico para el Sistema Nacional de Protección Civil, para el desarrollo del País, para la Seguridad Nacional y principalmente, para el bienestar de la sociedad que está expuesta a los fenómenos perturbadores. Para alcanzar esta deseada y ambiciosa meta, es necesario la activa participación y colaboración de todos, particularmente de aquellos que tenemos una responsabilidad en el ámbito de la Protección Civil y la Prevención de Desastres. Para ello el Cenapred pone a las órdenes de las entidades estatales y municipales y también a la población en general, todos sus recursos tecnológicos y humanos disponibles.

Recordemos, los desastres no son naturales, se derivan de una condición de riesgo. Consecuentemente los Atlas de Riesgo son el vehículo y a la vez guía estratégica indispensable para incidir, a través de la prevención, de manera efectiva en la mitigación de los riesgos y consecuentemente en la reducción de los desastres.

Roberto Quaas W.

PRESENTACIÓN

Los accidentes mayores relacionados con el manejo de sustancias químicas peligrosas, se presentan con poca frecuencia; sin embargo, el costo social, ambiental y económico es elevado. La principal herramienta para combatir estos accidentes es la prevención y el primer paso es la adecuada identificación de los peligros asociados al almacenamiento, transporte y distribución de las sustancias y materiales peligrosos.

En la "Metodología para identificación de peligros y riesgos químicos" se incluye una introducción a la aplicación de los conceptos de peligro y riesgo por sustancias químicas; asimismo se presentan los procedimientos para la elaboración de mapas de peligro debido al almacenamiento de sustancias peligrosas, transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos, y al transporte por ductos de sustancias peligrosas.

La "Guía metodológica para la identificación y evaluación de sitios contaminados" tiene como propósito principal establecer la información básica y los criterios para determinar si un sitio donde existen sustancias químicas o residuos puede representar una fuente de peligro para la población de los alrededores. Para esto se indica y describe la información necesaria sobre el sitio y la manera en que dicha información puede obtenerse, para posteriormente realizar un análisis y determinar el posible riesgo a la población. En esta guía se establecen dos tipos de evaluación que se pueden llevar a cabo en un sitio contaminado, llegando esencialmente a una evaluación de tipo preliminar. Asimismo, se describen los principales procedimientos para realizar el muestreo de suelo y agua, cuyo análisis permite determinar el grado de contaminación del sitio.

Otro de los fenómenos relacionados con los riesgos químicos son los incendios forestales. Este fenómeno, con un alto número de incidencias (18,000 incendios anuales en promedio), es un problema grave que afecta al medio ambiente y ocasiona cuantiosas pérdidas materiales en el medio forestal y agrícola. Para valorar este fenómeno se utilizan técnicas modernas que permiten predecir, monitorear y alertar sobre su comportamiento. Es por esto que el Cenapred se ha dedicado al estudio de este fenómeno, principalmente a través del análisis de sus causas, comportamiento y efectos en la población.

En este capítulo se presenta la metodología "Estimación simplificada de la amenaza y riesgo por incendios forestales", que es un trabajo recopilatorio sobre diferentes modelos experimentales, empíricos y analíticos, para la elaboración de mapas de peligro. Las variables que influyen en la ocurrencia de los incendios son múltiples y son aquéllas relacionadas con los aspectos meteorológicos, el material combustible, conformación del terreno y las actividades humanas. Este trabajo es un aporte para aquellas unidades de protección civil y otras instancia que requieran de manera simplificada conocer el nivel de peligro existente en una zona.

I IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y RIESGOS QUÍMICOS

Rubén Darío Rivera Balboa, María Esther Arcos Serrano, Cecilia Izcapa Treviño y Enrique Bravo Medina

RESUMEN

Los accidentes mayores relacionados con el manejo de sustancias químicas peligrosas, se presentan con poca frecuencia; sin embargo, el costo social, ambiental y económico es elevado. La principal herramienta para combatir estos accidentes es la prevención y el primer paso es la adecuada identificación de los peligros asociados al almacenamiento, transporte y distribución de las sustancias y materiales peligrosos.

En este capítulo se presentan los procedimientos para la elaboración de mapas de peligro debido al almacenamiento y transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosas, así como el transporte por ductos de sustancias peligrosas.

1.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, en México ha habido un proceso de aumento de la población en zonas urbanas con muy poca planeación, respeto a las regulaciones sobre uso de suelo o zonas de reserva ecológica, y menos hacia las zonas vulnerables a ciertos fenómenos naturales y antropogénicos.

La actividad productiva en las diferentes instalaciones industriales generalmente implica el manejo y almacenamiento de sustancias químicas, así como su transporte por las vías de comunicación o mediante tuberías. Muchas de estas sustancias son peligrosas debido a sus propiedades de toxicidad, inflamabilidad, explosividad, reactividad y corrosividad. Dichas sustancias son clasificadas como peligrosas por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social para los centros de trabajo de acuerdo con la NOM-018-STPS-2000 *Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas*, por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de acuerdo al *Reglamento para el Transporte Terrestre de Sustancias y Materiales Peligrosos* y la NOM-002-SCT-2003 *Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados*; y por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de acuerdo al *Primero y segundo listados de actividades altamente riesgosas*, y en el caso de los residuos peligrosos la NOM-052-ECOL-1993 *Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente*.

A continuación se presentan conceptos básicos sobre accidentes, identificación de peligros y evaluación de riesgo, para posteriormente desarrollar varios procedimientos que permitan la elaboración de mapas de peligro.

1.1.1 Accidentes con sustancias químicas

Los accidentes relacionados con sustancias químicas pueden presentarse por diversas causas, entre las que se incluyen: fenómenos naturales (sismos, huracanes, inundación, erupción volcánica, etc.), fallas operativas en los procesos industriales, fallas mecánicas, errores humanos y causas premeditadas. En el manejo y transporte de sustancias químicas pueden presentarse como consecuencia de un accidente, los siguientes eventos:

- Liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas.
- Liberación de líquidos o sólidos peligrosos.
- Incendios o explosiones.

De manera general los accidentes pueden provocar daños al ambiente, a las propiedades y a la salud de los trabajadores o a las personas que habitan en los alrededores de las industrias, de las vías de comunicación o de los ductos.

1.1.2 Efectos de los accidentes con sustancias químicas

Los accidentes con sustancias químicas pueden tener efectos negativos sobre:

- La salud de la población a corto y a largo plazo, por ejemplo: irritación de ojos y piel, tracto respiratorio, nausea, vómito, daño renal, hepático, gastrointestinal, respiratorio o neurológico.

- El ambiente: contaminación del suelo, aire y agua (superficial y subterránea).

- Las construcciones: daño a maquinaria y equipos, instrumentos, instalaciones industriales, casas y comercios.

- La economía: suspensión de actividades productivas, pérdida de empleos, gastos de reconstrucción de viviendas y servicios públicos, así como gastos de auxilio a la población afectada.

1.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y ANÁLISIS DE RIESGOS QUÍMICOS

1.2.1 Atlas de riesgo

Un atlas de riesgo es una herramienta para la prevención y atención tanto de accidentes como de desastres naturales que debe ser desarrollado en cada comunidad del país. El principal resultado del atlas de riesgo es un programa de manejo y estimación de riesgos (geológicos, hidrológicos, químicos, volcánicos, sísmicos, entre otros) que será implementado por las autoridades estatales y municipales en coordinación con la autoridad correspondiente de Protección Civil.

Para desarrollar los mapas de riesgo es necesario identificar y ubicar los peligros, así como determinar la población expuesta.

1.2.2 Identificación de peligros a nivel municipal

El peligro se puede definir como: *cualquier situación que tenga el potencial de causar lesiones a la vida o daños a la propiedad y al ambiente*. En la identificación de peligros a nivel municipal o local se deben determinar las actividades peligrosas que existen, tal como las instalaciones industriales que manejan y/o almacenan sustancias peligrosas en grandes volúmenes, las carreteras, vías férreas y los ductos por donde se transportan sustancias peligrosas, las sustancias o materiales peligrosos, dónde se ubican, qué tipo de accidente pueden ocasionar y las posibles consecuencias a la población.

El propósito de la identificación de peligros es obtener información como la siguiente:

1. Localizar las instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas
2. Identificar las instalaciones de servicios que usan o almacenan materiales peligrosos
3. Tipo y cantidad de sustancias peligrosas que se manejan
4. Identificar las propiedades físicas y químicas de las sustancias peligrosas
5. Identificar las condiciones de almacenamiento y los sistemas de seguridad
6. Identificar la trayectoria, longitud y diámetro de las tuberías que transportan sustancias peligrosas
7. Identificar las rutas de transporte y distribución de sustancias y materiales peligrosos
8. Identificar y evaluar la naturaleza de los peligros asociados.
9. Conocer la naturaleza de los efectos más probables de acompañar a una liberación de material peligroso: incendio, explosión, nube tóxica, etcétera.

El análisis de peligros es una tarea laboriosa, especialmente si la población considerada es grande y existen múltiples fuentes de peligro. Debido a que un análisis completo de los peligros existentes puede requerir de una gran cantidad de recursos, comúnmente se establece un proceso de selección inicial con objeto de limitar la profundidad del análisis, y destinar los recursos al análisis de los peligros más importantes. El análisis de peligros se debe integrar al de vulnerabilidad y a la exposición de elementos en riesgo, para tener un conocimiento total del riesgo en el municipio.

1.2.2.1 Identificación de instalaciones industriales que manejan sustancias peligrosas

En la industria se utilizan y/o elaboran diversas sustancias y materiales peligrosos, asimismo en las actividades comerciales, educativas y de servicios se emplean o manipulan dichas sustancias y materiales.

El peligro que una sustancia puede representar para una localidad depende no solo de las propiedades de la misma, sino también del volumen o cantidad presente y de su ubicación. Una manera de diferenciar a las empresas que manejan sustancias y materiales peligrosos es con respecto al volumen o cantidad existente en sus instalaciones. La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Gobernación elaboraron y publicaron en el Diario Oficial de la Federación el *Primero y segundo listados de actividades altamente riesgosas* (28 de marzo de 1990 y 4 de mayo de 1992); en estos listados se establecen como actividades altamente riesgosas aquellas en las cuales se maneje alguna de las sustancias incluidas en los listados en una cantidad igual o superior a la cantidad de reporte, definida ésta como: *la cantidad mínima de sustancia peligrosa durante la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.*

Las empresas, comercios, instituciones, etcétera, que realizan actividades no consideradas altamente riesgosas de acuerdo a los listados, pueden manejar en sus instalaciones sustancias y materiales peligrosos por lo que es importante también ubicarlas.

Para obtener información sobre las sustancias que se manejan en algún sitio de interés deben considerarse las siguientes instalaciones:

- Refinerías
- Instalaciones industriales
- Almacenamiento de gas LP
- Terminales de autotransporte de carga
- Plantas potabilizadoras de agua
- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Plantas de refrigeración
- Terminales de ferrocarriles: patios de maniobras, áreas de almacenamiento, etc.
- Plantas para tratamiento y/o disposición de residuos
- Terminales marítimas
- Aeropuertos
- Comercios
- Gasolineras
- Tintorerías
- Restaurantes
- Tlapalerías
- Tortillerías
- Mercados
- Estaciones de carburación
- Almacén de materiales pirotécnicos
- Hospitales que manejan materiales radioactivos

Otras instalaciones o sitios que pueden considerarse son:

- Sitios contaminados por sustancias químicas
- Sitios de disposición de residuos químicos industriales
- Rellenos sanitarios, basureros municipales, tiraderos clandestinos

Posterior a la identificación de fuentes de peligros se deberán elaborar listas de las situaciones, eventos o escenarios que poseen el potencial para provocar daños a las personas, las propiedades o el ambiente.

1.2.2.2 Identificación de ductos que transportan sustancias peligrosas

Una liberación a la atmósfera de las sustancias transportadas a través de ductos puede poner en peligro a las personas que vivan o se encuentren próximas al lugar de la fuga. El grado de peligro está en función de las características de las sustancias transportadas, del diámetro de la tubería, de la presión a que se encuentran en el interior de la tubería y de las condiciones en que sean liberadas. Por ejemplo, el gas natural cuyo principal constituyente es el metano, puede crear una nube

inflamable cuando se mezcla con el aire; si una cantidad considerable de gas natural es liberado a la atmósfera, éste puede incendiarse o provocar una explosión cuando se encuentre en concentraciones dentro del intervalo de explosividad de la sustancia.

El propano, butano, gas licuado de petróleo y otros productos se transportan en forma líquida, por lo cual de suceder una fuga pueden evaporarse rápidamente y formar una mezcla altamente inflamable y explosiva; esta mezcla puede formar una nube y desplazarse a distancias considerables en la dirección del viento, antes de su posible ignición.

Los registros históricos sobre accidentes en ductos de transporte o distribución de materiales son importantes ya que permiten evaluar la frecuencia de ocurrencia, el número de veces que se presentaron algunos incidentes y sus consecuencias. En la tabla 1.1 se presentan las causas de fallas en tuberías para el transporte y distribución de materiales.

Tabla 1.1 Causas de fallas en tuberías

Defectos que originan fallas en las pruebas previas al servicio	Defectos que originan fallas durante la operación
a) Defectos en el cuerpo de la tubería: daño mecánico grietas de fatiga debidas al traslado defectos del material b) Defectos en la soldadura longitudinal: Arco sumergido fisuras en el área de soldado fusión incompleta porosidad inclusiones de escoria soldado fuera de la costura penetración incompleta Soldadura eléctrica inclusiones en la línea de soldado fisuras por enganchamiento soldado en frío quemado por contacto desbaste excesivo dureza excesiva c) Defectos de la soldadura en campo: agrietamiento debido a burbujas agrietamiento del metal de soldadura	a) Defectos en el cuerpo de la tubería: daño mecánico defectos del material efectos del ambiente: corrosión agrietamiento debido a hidrógeno agrietamiento por corrosión agrietamiento debido a sulfuros b) Defectos en la soldadura longitudinal: arco sumergido fisuras en la base fisuras debidas a ciclos de carga arco eléctrico corrosión selectiva agrietamiento debido a hidrógeno c) Defectos de la soldadura en campo: penetración insuficiente corrosión (normalmente interna) d) Causas especiales: cargas adicionales debidas a movimientos del terreno cargas adicionales debidas a temblores combustión interna sabotaje arrugas por doblado e) Fallas en accesorios f) Fallas debidas a la operación

Fuente: Kiefer F. John. Oil and Gas Journal marzo 30 de 1987, tomado de Rivera, R.D., 1999.

Para la identificación de los ductos que transportan sustancias peligrosas se debe obtener información lo más detallada posible sobre:

- El operador del ducto
- Tipo de instalación
- Trayectoria
- Dimensiones del derecho de vía
- Material transportado
- Características de la sustancia trasportada:
- Estado físico de la sustancia transportada: líquido, gas, dos fases (líquido y gas)

- Presión de operación, en libras sobre pulgada cuadrada o kilogramos sobre centímetro cuadrado
- Temperatura de la sustancia, en grados centígrados
- Historial de accidentes.

1.2.2.3 Identificación de carreteras en las que se transportan sustancias peligrosas

Los accidentes en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos son eventos que se consideran poco frecuentes; sin embargo una liberación accidental del material puede ocurrir y tener impactos de consideración al ambiente, a los bienes materiales y a las personas próximas al sitio del incidente.

El peligro en el transporte de estos materiales depende en primer lugar de las características de los mismos. Para la identificación de peligros se requiere: conocer las consecuencias específicas indeseables y la identificación del material y del sistema que puedan provocar estas consecuencias.

La descripción del sistema (tipo de vehículo, condiciones del camino, etc.) incluye las particularidades que limitan el caso a analizar. En el caso del transporte de materiales y residuos peligrosos estas particularidades incluyen las relacionadas a la trayectoria, el vehículo y el material transportado; por ejemplo: inicio y destino de la ruta, clases de camino, longitud total de la ruta, topografía del terreno, características del vehículo, características del recipiente, condiciones en que se encuentra el material transportado, distribución de la población en las áreas adyacentes, condiciones meteorológicas, propiedades físicas y químicas del material transportado.

Cuando la ruta de transporte se divide en segmentos debe considerarse para cada caso:

- Modo de transporte: autotransporte, ferrocarril
- Densidad o distribución de la población en las áreas contiguas a la trayectoria
- Volumen de tráfico
- Clase de camino o vía férrea

Para la identificación de sitios (o segmentos) y tramos peligrosos se han establecido diversos criterios entre ellos se incluyen los siguientes:

- *El número de accidentes (o accidentes por unidad de longitud de carretera) en un periodo, que exceda un nivel establecido (por ejemplo, 3 por año)*. Este criterio no toma en cuenta el nivel de exposición, esto es que para un tramo de carretera no se considera el número de vehículos que transitan por dicho tramo.

- *La tasa de accidentes para un periodo dado, que exceda un valor establecido*. Este criterio toma en cuenta el nivel de exposición. Las tasas se expresan usualmente en términos de accidentes por millón de vehículo-kilómetros, para el caso de carreteras; para el caso de las intersecciones se han utilizado una variedad de métodos para determinar el nivel de exposición.

Lo anterior permite identificar los peligros debidos al transporte de materiales y residuos peligrosos en el sitio de interés.

El riesgo en el transporte puede establecerse en términos de la probabilidad de un accidente y sus consecuencias, por lo cual el registro de accidentes y su análisis son imprescindibles para determinar las frecuencias y probabilidades necesarias para la estimación del riesgo. La estimación del riesgo inicia con la comprensión del nivel de exposición (número de envíos, toneladas transportadas, distancia recorrida), tipo de incidente, causa y frecuencia, y las consecuencias del incidente (muerte, lesiones, daños), para la posterior integración de los resultados.

Los alcances deberán ser consistentes con los objetivos de un análisis de riesgo. El juicio y la experiencia de los responsables del proceso de evaluación de riesgos tiene gran importancia para delimitar los alcances; sin embargo, esta tarea puede iniciar identificando:

- Rutas de transporte establecidas y alternativas.
- Selección de los segmentos de la trayectoria ubicados en zonas de alta densidad poblacional.
- Los segmentos con mayor tránsito vehicular o que presentan mayores índices de accidentes.
- Las circunstancias especiales que determinen la utilidad de un segmento, por ejemplo cuando este camino es el único acceso a una población.

Cuando el estudio posee un alcance mayor, los objetivos pueden incluir: áreas ambientalmente sensibles, áreas de recarga de acuíferos, zonas de importancia histórica, proximidad a ríos, características del suelo, etcétera.

1.2.3 Análisis de riesgo

El proceso del análisis de riesgo permite revisar de manera cualitativa y cuantitativa los riesgos, abarcando desde eventos frecuentes a eventos raros y de baja consecuencia a eventos mayores. Los componentes o técnicas del proceso de análisis de riesgos ayudan a identificar los mayores contribuyentes al riesgo y por lo tanto se pueden hacer recomendaciones y ayudar en la toma de decisiones y en la aplicación de medidas para su disminución. El análisis de riesgo puede variar en profundidad desde un estudio elemental hasta uno de mayor detalle, de acuerdo al número de incidentes considerados, a la manera en que se obtienen las frecuencias y probabilidades, así como los modelos empleados para la determinación de consecuencias. La complejidad de los modelos para la determinación de consecuencias puede variar, desde ecuaciones algebraicas simples a funciones extremadamente complejas. Asimismo, el número de incidentes considerados puede variar de acuerdo con las clases de incidentes: incidente menor (zona de afectación limitada), incidente mayor (zona de afectación media) o incidente catastrófico (zona de afectación extensa).

El análisis de riesgo proporciona información sobre:

- Eventos precursores y causas potenciales de accidentes
- Probabilidad de que una liberación de una sustancia peligrosa ocurra y de que exista cualquier condición ambiental inusual, o la posibilidad de incidentes simultáneos
- Tipo de daño o lesión a la población y los grupos de riesgo asociados
- Tipo de daño a la propiedad (temporal, reparable, permanente)
- Tipo de daño al ambiente (recuperable, permanente)

- Riesgos posibles, estrategias de prevención y mitigación
- Magnitud del riesgo

Asimismo, el análisis de riesgos proporciona una base para comparar sitios de acuerdo al grado de riesgo que presentan y posteriormente establecer prioridades en la planeación de emergencias.

1.2.3.1 Definición de riesgo e incidente

El riesgo puede definirse como: *una medida de la pérdida económica o del daño a personas en términos tanto de la probabilidad del incidente como de la magnitud de la pérdida o daño*. A su vez, un incidente puede definirse como*: la pérdida de contención de material o energía*; un ejemplo de incidente es la liberación de 100 kg/min de amoniaco debido a una falla en la válvula de seccionamiento x.

Como resultado de un incidente se identifica su manifestación física; para el caso de materiales tóxicos el resultado de un incidente es una liberación tóxica, mientras que para materiales inflamables el resultado de un incidente puede ser una BLEVE (explosión por expansión del vapor de un líquido en ebullición, por sus siglas en inglés Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion), ráfaga de fuego (flash fire), explosión de nube de vapor no confinada, etcétera. Se entiende por resultado de un incidente a: *la definición cuantitativa de un caso simple o particular resultado de un incidente mediante la especificación de los parámetros suficientes que permitan la distinción de este caso con respecto a otros, producto del mismo resultado de un incidente.* Ejemplo de un caso particular resultado de un incidente es: la concentración de 3333 ppm de amoniaco a una distancia de 610 metros viento abajo, para una tasa de liberación de 4.5 kg/seg, estabilidad D y velocidad del viento de 2.25 km/h.

1.2.3.2 Medición del riesgo

Para calcular de manera cuantitativa el riesgo es necesario determinar y seleccionar todos los incidentes, una vez definidos éstos, se establecen los resultados de los mismos y de los casos particulares resultado de los incidentes. No existe una manera única de medir el riesgo, y la medición estará determinada por la información y los recursos disponibles, así como el propósito para el cual se hace la estimación.

Riesgo individual

El riesgo individual considera el riesgo para una persona ubicada en cualquier punto de la zona de impacto de un incidente. Considerando lo anterior puede estimarse para los individuos más expuestos, para personas en lugares específicos o para un individuo promedio en la zona de afectación, obteniéndose para cada caso, valores diferentes de riesgo ante un mismo incidente. Dentro de las medidas de riesgo individual pueden considerarse:

Contornos de riesgo individual: muestran la frecuencia esperada de un evento que puede causar un nivel específico de daño en una localización establecida, se encuentre o no alguien presente en el sitio para sufrir el daño.

Riesgo individual máximo: es el riesgo de una o más personas expuestas al riesgo mayor.

Riesgo individual promedio: puede determinarse de varias maneras:

- Considerando a la población expuesta (riesgo individual promedio de la población expuesta).

- Considerando a la población total (riesgo individual promedio de una población predeterminada, sin importar si toda la gente está expuesta a un riesgo).

- Considerando a las horas de exposición sobre horas trabajadas (riesgo individual de una actividad de acuerdo a la duración de un día de trabajo).

El riesgo individual expresa el riesgo de lesiones serias o muerte, debidas a la exposición de un individuo en las cercanías de una fuente de peligro, se reporta comúnmente como $año^{-1}$, y se presenta usualmente en forma de contornos de iso-riesgo (áreas que presentan el mismo valor de riesgo).

Riesgo social

Riesgo social es una medida de riesgo sobre un grupo de personas, se expresa frecuentemente en términos de la distribución de frecuencias de eventos que presentan múltiples resultados de incidentes. Para el cálculo del riesgo social se emplea la misma información sobre frecuencias y consecuencias que el riesgo individual; adicionalmente el riesgo social requiere para su estimación de la identificación de la población en riesgo alrededor de la instalación considerada.

Para el análisis detallado del riesgo social se requiere información específica de la población próxima a las instalaciones, que puede incluir:

- Información sobre el tipo de población (ejemplo: residencial, oficina, escuelas, etc.) para evaluar los factores de mitigación
- Información sobre comportamientos horarios
- Información sobre efectos en función de los días de la semana (para instalaciones industriales, educativas o recreativas)
- Información sobre el porcentaje de tiempo que la población se encuentra en el interior de sus casas, para evaluar factores de mitigación.

Existen diferentes maneras de presentar el riesgo social, la más frecuentemente utilizada es la curva F-N o gráfico Frecuencia- Número de muertes.

El riesgo social es particularmente importante cuando se evalúa el riesgo a la población, como son las áreas de alta densidad poblacional a lo largo de la trayectoria del ducto o alrededor de una instalación industrial. Asimismo, en el cálculo del riesgo social debe reflejarse con la mayor precisión posible la situación real de acuerdo a las características de la distribución de la población, el tipo de vivienda o construcción, la habilidad de la gente para evacuar el sitio, las fuentes de ignición y las condiciones meteorológicas.

1.2.3.3 Frecuencia y probabilidad de un incidente

El proceso de evaluación de riesgo implica la estimación de la frecuencia del incidente, así como la probabilidad y consecuencia de eventos no deseados. La estimación de frecuencias y probabilidades puede realizarse a partir de datos históricos o de la aplicación de otras técnicas, tales como árbol de fallas y de eventos, estimación subjetiva, etcétera.

La frecuencia de un incidente se expresa como el número de eventos esperados por unidad de tiempo, la probabilidad no posee unidades y se utiliza para describir la posibilidad de un evento durante un periodo de tiempo especificado (ejemplo: un año), probabilidad de falla por demanda, o la probabilidad condicional de que un evento ocurra dado que el evento precursor ya se ha presentado.

1.2.3.4 Análisis de consecuencias

El objetivo del análisis de consecuencias es cuantificar el impacto negativo de un evento. Las consecuencias generalmente se miden en términos del número probable de muertos, aunque también es posible expresarlas en función del número de lesionados o de daños a la propiedad. Normalmente se consideran tres tipos de efectos: radiación térmica, ondas de sobrepresión por explosión, y exposición a sustancias tóxicas. Existe una gran variedad de modelos que se utilizan en el análisis de consecuencias, los cuales pueden agruparse en los siguientes tipos: de fuente y dispersión, de fuego y explosión, así como los modelos de efectos.

Los modelos de fuente y dispersión proporcionan información cuantitativa sobre tasas de liberación y dispersión, así como de niveles de concentración en la atmósfera de la sustancia considerada con respecto a la fuente de liberación y las condiciones en que se realiza la liberación y dispersión de la sustancia en la atmósfera.

Los modelos para fuego y explosión convierten la información sobre nubes formadas por sustancias inflamables en medidas sobre el peligro potencial.

Los modelos de explosión de nube de vapor no confinada, los modelos de ignición instantánea, de explosión, BLEVE y de bola de fuego estiman las ondas de choque por sobrepresión, velocidad de proyección de fragmentos y niveles de radiación térmica.

Los modelos de efectos convierten los resultados específicos de un incidente en efectos sobre personas y estructuras.

Los modelos anteriores se basan en el principio de que la severidad con que un incidente afecta a las personas o estructuras, está en función de la distancia con respecto a la fuente de liberación del material o para el caso de nubes explosivas, del punto de detonación.

Una vez determinada la distribución de los niveles de concentración, radiación térmica y/o ondas de choque de sobrepresión para los incidentes considerados, el paso siguiente es la determinación de las consecuencias.

Una manera de establecer las consecuencias como resultado de un incidente es el modelo de efecto directo, el cual predice los efectos sobre las personas o estructuras basado en un criterio preestablecido, por ejemplo: se considera que las personas expuestas a cierta concentración de una sustancia tóxica en la atmósfera morirán.

El análisis de consecuencias debe contemplar como mínimo:

1. La cantidad de sustancia liberada

2. La concentración de sustancia, la cantidad de radiación o sobrepresión que pueda alcanzar a las personas, o a las propiedades.

3. Los procesos físicos y mecanismos de dispersión por los cuales una sustancia puede alcanzar y afectar a las personas próximas al lugar de la fuga, o dañar al ambiente

4. Los efectos esperados de la sustancia liberada.

Las consecuencias de los eventos pueden estimarse de una manera cuantitativa o cualitativa, o en ambas. Los procedimientos cualitativos a menudo utilizan categorías relativas como son: severo, moderado o insignificante, dependiendo de la severidad del incidente; a menudo las categorías cualitativas se establecen a partir de una consecuencia esperada (por ejemplo: 1 ó 5 lesionados). Los procedimientos cuantitativos estiman el nivel esperado de severidad en términos del número de heridos, muertos, etcétera. Los procedimientos semicuantitativos a menudo usan un índice numérico para expresar las consecuencias relativas de un evento.

En la figura 1.1 se muestra un diagrama de riesgo donde se establecen a partir de intervalos de probabilidad y de consecuencias, diferentes categorías de riesgo.

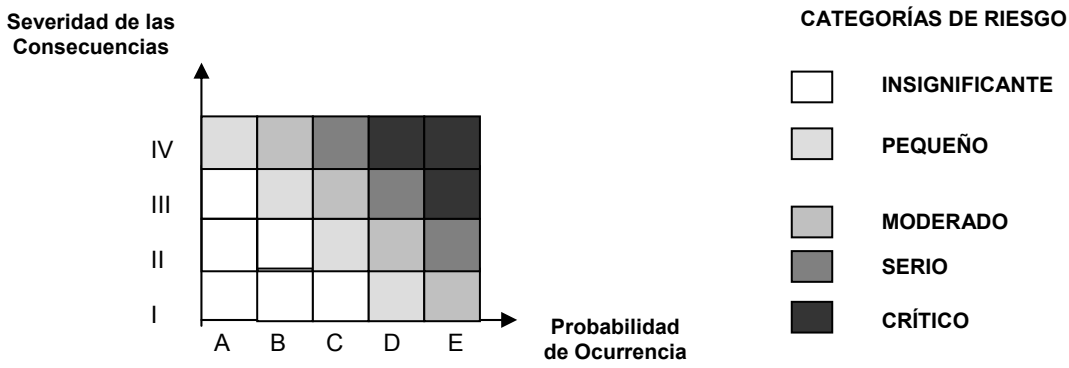


Figura 1.1 Diagrama de Riesgo

En las tablas 1.2 y 1.3 se definen las diferentes categorías de severidad de las consecuencias y de probabilidad de ocurrencia empleadas en el diagrama de riesgo.

Tabla 1.2 Categorías de severidad de consecuencias

Categoría de consecuencia	Descripción
I. insignificante	No hay degradación mayor en el sistema, daños insignificantes que no representan riesgo.
II. marginal	Degradación moderada del sistema, con consecuencias que pueden ser controladas.
III. crítica	Se degrada el sistema y los daños causados representan un riesgo inaceptable.
IV. catastrófica	Severa degradación del sistema o ambiente, pérdidas económicas y humanas graves.

Tabla 1.3 Categorías de probabilidad de ocurrencia

Categoría	Frecuencia de ocurrencia	Descripción
A - muy raro	$F< 10^{-4}$	Ocurrencia teóricamente posible, pero técnicamente improbable
B – raro	$10^{-3} > f > 10^{-4}$	No se espera que ocurra
C - eventual	$10^{-2} > f > 10^{-3}$	Probablemente ocurra
D - probable	$10^{-1} > f > 10^{-2}$	Se espera que ocurra una vez en 25 años
E - frecuente	$F > 10^{-1}$	Es posible que ocurra más de una vez en 25 años

1.2.3.5 Estimación o valoración del riesgo

Una vez que los diferentes escenarios han sido identificados, la frecuencia de los eventos y sus consecuencias han sido determinadas, entonces el riesgo puede evaluarse. El riesgo puede estimarse de manera cualitativa, cuantitativa o en ambas formas, dependiendo del proceso usado para el análisis de frecuencias y de consecuencias. En esta etapa de la evaluación de riesgos se puede obtener un perfil de riesgos, esto es, un gráfico de la frecuencia contra el número acumulado de lesionados o muertes. La ventaja de presentar en esta forma los resultados es que incluye la distribución de la población alrededor del segmento considerado y las condiciones meteorológicas locales.

Criterios de aceptación para riesgo individual y social

Diferentes países, incluidos Australia, Reino Unido y Holanda, emplean criterios numéricos de riesgo individual para evaluar la tolerancia y aceptación de una instalación en términos de seguridad. Un acercamiento es establecer un límite superior el cual no se debe rebasar y un límite inferior o de riesgo despreciable, dentro de este intervalo se deben considerar medidas de seguridad y analizarse de acuerdo con su pertinencia y costo-beneficio. En Holanda el límite de riesgo individual para nuevas instalaciones (que incluyen a los ductos) es de 10^{-6} /año; sin embargo, es posible sobrepasar este límite de acuerdo con un estudio y su aprobación por parte de las autoridades correspondientes, sobre la base de ALARA (as low as reasonably achiveable, tan bajo como razonablemente sea factible).

En el Reino Unido existe un criterio para instalaciones industriales peligrosas el cual no aplica formalmente a ductos pero se considera; el criterio se basa en el triángulo ALARP (as low as reasonably practicable, tan bajo como razonablemente sea practicable), este triángulo está constituido por una región para la cual el riesgo es no tolerable (mayor a 10^{-4}/año o 1 en 10000/año), una región de riesgo tolerable donde se aplica el criterio ALARP para la reducción de riesgos (menor de 10^{-4}/año hasta 10^{-6}/año o 1 en 1000000/año), una región de riesgo ampliamente aceptable (menor de 10^{-6}/año hasta $3x10^{-7}$/año o 3 en 10 millones/año) y una región de riesgo aceptable (menor a $3x10^{-7}$/año).

El cumplimiento con los criterios de riesgo individual es condición necesaria más no suficiente, una vez que se han satisfecho éstos, el riesgo social debe también examinarse para algunas circunstancias. La evaluación del riesgo social para ductos es particularmente distinta a otras instalaciones fijas ya que éstos se ubican a lo largo de una trayectoria que puede atravesar áreas con diferentes densidades de población. Cuando se considera hacer una evaluación del riesgo social, lo más común es considerar poblaciones específicas (puntos de interés), o usar densidades de población uniformes. En Holanda se ha establecido provisionalmente un valor para riesgo social por

kilómetro de longitud de 10^{-4}/año para 10 muertes, 10^{-6}/año para 100 muertes, etcétera; sin embargo las autoridades pueden desviarse de estos valores siempre y cuando se justifique apropiadamente. En el caso de México no existen aún estos criterios, por lo cual deberá evaluarse su desarrollo.

1.3 DETERMINACIÓN DE ZONAS VULNERABLES

En el análisis de vulnerabilidad se identifican los puntos de la población susceptibles a ser dañados. El análisis de vulnerabilidad proporciona la siguiente información:

- La extensión de la zona vulnerable debido a una liberación de materiales peligrosos y las condiciones que influyen en la zona de impacto.
- Tamaño y tipo de población dentro de la zona afectable.
- Propiedad pública o privada que puede ser dañada, incluyendo los sistemas de soporte y las rutas o corredores de transporte.

Los sistemas que se deben de considerar como vulnerables y en los cuales es necesario estimar la población que puede verse afectada durante una emergencia, son los siguientes:

- Casas habitación
- Zonas comerciales
- Mercados
- Iglesias
- Escuelas
- Hospitales
- Zonas industriales
- Subestaciones eléctricas
- Estaciones de bombeo de agua
- Reservas ecológicas
- Cuerpos de agua superficiales y subterráneos
- Zonas ganaderas
- Zonas agrícolas
- Zonas avícolas
- Zonas pecuarias
- Terminales de transporte de pasajeros (terrestre y aérea)
- Terminales marítimas
- Puertos y aduanas

1.4 RECURSOS PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Una emergencia con materiales peligrosos, es un suceso inesperado que puede afectar al ambiente y a la población en el área próxima al sitio donde sucede un accidente o incidente con

materiales peligrosos. Cuando sucede un accidente se requiere la interacción y cooperación de diversas autoridades, dependencias y en su caso empresas u organizaciones privadas. La atención de una emergencia puede dividirse en cuatro componentes:

- Identificación de la naturaleza de la emergencia.
- Evacuación de la población en riesgo.
- Aislamiento y confinamiento del incidente.
- Mitigación de los efectos de la emergencia y descontaminación.

La respuesta a una emergencia se relaciona de manera directa o indirecta con cada uno de los componentes anteriores. Así, puede decirse que es la parte del manejo en la cual el personal está involucrado en el control de un incidente con materiales peligrosos mediante operaciones defensivas y/u ofensivas.

Cuando la respuesta a una emergencia, de manera especial para el caso de los materiales peligrosos, es oportuna y calificada, el incidente puede controlarse antes de que las consecuencias sean mayores; sin embargo, si el lapso entre el incidente y el inicio de las acciones de respuesta se incrementa, la posibilidad de que las consecuencias sean mayores también aumenta. Es así, que la efectividad de la respuesta a emergencias (en lo relativo a tiempo y acciones) se relaciona directamente con la disminución en la severidad de las consecuencias de un incidente.

Para atender de manera adecuada una emergencia con materiales peligrosos se requiere de una planeación efectiva. Para el desarrollo de uno o más planes de atención se necesita información diversa, que incluye entre otros: los posibles tipos de emergencias, características del recipiente que contiene al material, propiedades del material, condiciones particulares en que se encuentra el material, distribución de la población, características del sitio donde ocurre el incidente, capacidades materiales y humanas de los organismos responsables de la respuesta, localización de los organismos responsables de la respuesta, tiempo requerido para el arribo al sitio del accidente o incidente de los grupos de respuesta e inventario de los recursos disponibles de grupos voluntarios.

Durante el transporte y almacenamiento de materiales y residuos peligrosos existe la posibilidad de que sucedan liberaciones, cuando esto ocurre las autoridades locales deberán participar en la atención del incidente. Debido a lo anterior es conveniente que las autoridades establezcan y mantengan una adecuada capacidad de respuesta a emergencias, así como planearse las acciones de respuesta, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

Tamaño de la localidad: la cantidad de peligros depende del tamaño de las ciudades, el tipo de actividades industriales existentes y de las características de sus instalaciones; en ciudades pequeñas y con poca actividad industrial puede existir un menor número de peligros. Asimismo se debe considerar el tamaño de la población posiblemente afectable.

Nivel de peligro: el nivel de peligro existente dependerá de la cantidad, número y tipo de materiales peligrosos que se producen, procesan, almacenan o movilizan en la ciudad, zona o región.

Nivel de preparación: de acuerdo a los recursos disponibles, de la capacitación y organización de las dependencias y organismos locales, del tamaño de la ciudad y del nivel de los peligros existentes, una ciudad puede requerir una mayor o menor preparación para la respuesta a incidentes con materiales peligrosos.

Considerando lo anterior, es posible actuar para disminuir el impacto de un incidente, mejorar los sistemas de alertamiento, mejorar el nivel de entrenamiento de la industria (relacionada con el manejo de materiales y residuos peligrosos), y del personal local de respuesta, así como lograr una mejor preparación de la comunidad ante un incidente con materiales peligrosos.

1.5 MAPAS DE PELIGRO Y DE RIESGO

Un mapa es la representación plana de una parte de la tierra, en nuestro caso de una parte del país o estado, en el cual pueden representarse gráficamente diversos elementos. Cualquier espacio representado en un mapa puede ser:

- Localizado, cuando se sitúa un punto con precisión
- Ubicado, cuando además se relaciona con su espacio inmediato
- Medido, determinando magnitudes y distancias por medio de escalas.

Así, la elaboración de un mapa donde se representen los peligros o los riesgos, permite localizar, ubicar y hacer mediciones sobre los mismos y las consecuencias de un incidente debido a la liberación de sustancias o materiales peligrosos.

Para la identificación de los sitios y las áreas en las que existe algún peligro debido al manejo, almacenamiento o transporte de sustancias y materiales peligrosos, de manera general se debe realizar lo siguiente:

1. Localizar en un plano base (cuyas características se indican más adelante) las instalaciones en las cuales se manejan y almacenan sustancias peligrosas y las vías de comunicación por las cuales se transportan estas sustancias y materiales peligrosos.

2. Establecer los posibles escenarios de incidentes (por ejemplo, fuga o liberación de 100 litros de amoniaco) y los resultados de los incidentes (por ejemplo, radio de afectación de 250 metros debido a nube tóxica, en el cual se alcanza una concentración igual a la *inmediatamente peligrosa para la vida y la salud*, IPVS (en inglés IDLH, Immediately Dangerous for Life and Health).

3. Indicar en el plano base las áreas de afectación debido a los incidentes con sustancias y materiales peligrosos, de acuerdo al resultado de cada incidente del escenario propuesto.

4. Señalar en el plano base los puntos o sitios de interés que pueden verse afectados (escuelas, hospitales, fuentes de abastecimiento de agua, etc.).

1.5.1 Información básica

Para la elaboración del atlas de peligros y riesgos en lo referente a riesgos químicos se debe obtener la información básica descriptiva del estado en la cual está ubicada la localidad en estudio, está información incluye:

Aspectos generales de la entidad federativa

Descripción del estado de la República en el cual se ubica la localidad de interés; esto incluye:

a) Características del estado
   Nombre del estado.
   Ubicación geográfica del estado (ejemplo: porción centro-este).
   Superficie: en kilómetros cuadrados.
   Coordenadas de referencia para el estado.
   Estados con los que limita en cada dirección.
   Aspectos relevantes, por ejemplo: montañas, volcanes, lagunas, ríos, etc. y sus características.
   Altura promedio sobre el nivel del mar u otras relevantes.
   Número de habitantes.

b) División municipal
   Indicar el número de municipios que componen al estado.
   Indicar y describir los principales municipios y las actividades económicas que se realizan en éstos.

c) Vías de comunicación
   Carreteras: indicar su extensión para los diferentes tipos, carreteras principales (origen, ciudades intermedias, destino).
   Vías férreas: indicar su extensión, principales vías (origen, ciudades intermedias, destino).
   Aeropuertos: ubicación y características.

d) Características climáticas
   Describir de manera general los tipos de clima existentes en el estado y sus características: heladas, granizadas, precipitación, huracanes, etcétera.

e) Características geológicas y sísmicas
   Describir y localizar los aspectos relevantes sobre geología y sismicidad del estado.

f) Hidrología
   Establecer la ubicación e indicar las principales características de las aguas superficiales existentes en el estado (ríos, presas, lagos, etc.): ubicación, extensión, usos, etcétera.
   Establecer la ubicación e indicar las características de las aguas subterráneas existentes en el estado.

La anterior información básica a nivel estatal, deberá desarrollarse de la manera más detallada posible para la localidad en la cual se desean ubicar y determinar los peligros y riesgos debidos al manejo de sustancias y materiales peligrosos.

1.5.2 Procedimientos para la elaboración de mapas de peligros

A continuación se presentan tres procedimientos para la elaboración de mapas de peligros que corresponden al almacenamiento, transporte terrestre y por ductos de sustancias y materiales peligrosos. Estos procedimientos forman parte de la primera etapa, que tiene como propósito homogenizar los planteamientos existentes para la elaboración de mapas de peligros. En etapas

posteriores se desarrollarán los procedimientos para la evaluación de riesgos y para la elaboración de mapas de riesgo.

1.5.2.1 Procedimiento para la elaboración de mapas de peligro para el almacenamiento de materiales peligrosos

Primera etapa: mapa de peligro

I.- Identificación de industrias que manejan sustancias peligrosas

Identifique las industrias que manejan sustancias químicas y/o materiales peligrosos en su municipio, obteniendo su dirección y de ser posible establezca su ubicación geográfica (latitud y longitud) estos datos son indispensables para geo-referenciar las industrias en un Sistema de Información Geográfica (SIG), esto puede hacerse con el uso de un GPS (Global Positioning System, sistema de posicionamiento global).

En el municipio deberán considerarse a las industrias químicas, de alimentos, farmacéutica y metalmecánica de acuerdo con la tabla 1.4, así como incluir puertos, aduanas, instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro, distribuidores de productos agroquímicos, gaseras, plantas de tratamiento de agua potable, plantas de tratamiento de agua residual, estaciones de carburación y otras instalaciones de interés.

II.- Identificación de sustancias peligrosas almacenadas

Identifique las sustancias químicas que almacenan las industrias localizadas en el punto anterior, para lo cual puede servir de guía las tablas 1.5 y 1.6, donde se enlistan las principales sustancias más peligrosas almacenadas en el país por giro industrial.

Obtenga los nombres de las sustancias, el volumen almacenado, el número CAS (Chemical Abstract Service), el número de Naciones Unidas (UN) y el índice de peligro para la Salud, Inflamabilidad y Reactividad de acuerdo con los estándares de la National Fire Protection Association (NFPA, en español Asociación Nacional de Protección de Incendios) estos datos se pueden obtener de las Hojas de Seguridad de los Materiales, que puede proporcionar la empresa que maneja el material o buscar en bibliografía o en Internet las hojas de seguridad deseadas, por ejemplo en la siguiente dirección electrónica:

http://www.orcbs.msu.edu/chemical/nfpa/nfpa.html

Póngalos en una primera lista (lista 1), solamente considere aquellas sustancias que tengan un valor de 3 y 4 en uno o más de los índices de peligro, esto es, salud, inflamabilidad, reactividad, las demás no las tome en cuenta y páselas a otra lista (lista 2) que servirá para ubicar actividades peligrosas de interés estatal y municipal en caso de que el estado contemple esta regulación o bien se considerarán como sustancias de menor peligrosidad que pueden ser también incorporadas al mapa de peligro.

Algunas leyes estatales de protección civil establecen que las empresas que manejan materiales o residuos peligrosos deben informar cada determinado tiempo al órgano municipal el nombre del producto que se maneja, fórmula, nombre químico, estado físico, número de Naciones

Unidas, tipo de contenedor, etcétera; por ejemplo, esto se establece en el artículo 66 de la Ley de Protección Civil del Estado de Baja California.

Las sustancias y sus volúmenes de almacenamiento se pueden obtener de los Programas de Prevención de Accidentes (PPA's) que presentan para su aprobación las industrias de alto riesgo. Se puede tener acceso a estos programas a través de las delegaciones estatales de SEMARNAT, ya que las empresas les entregan sus Programas de Prevención de Accidentes, debido a que esta institución regula las actividades altamente riesgosas.

III.- Comparación de los volúmenes de almacenamiento con la cantidad de reporte

Compare el volumen de almacenamiento de las sustancias peligrosas con la cantidad de reporte que se encuentran en el Primer listado (manejo de sustancias tóxicas, publicado el 28 de marzo de 1990 en el Diario Oficial de la Federación) y el Segundo listado (Manejo de sustancias inflamables y explosivas, publicado el 4 de mayo de 1992 en el Diario Oficial de la Federación) de actividades altamente riesgosas, para considerar solamente las sustancias que se almacenen en una cantidad igual o mayor a la cantidad de reporte.

Si la cantidad de reporte es menor que la indicada en los listados de actividades altamente peligrosas, pásela a la lista 2.

Estos listados se pueden encontrar en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente que contenga los Reglamentos y otras disposiciones, como la publicada por Editorial Porrúa, o bien en la siguiente página de internet: www.semarnat.gob.mx/wps/portal/_s.155/4385.

IV.- Ubicación en un mapa del municipio de las empresas que almacenan sustancias peligrosas

Ubique en un mapa del municipio las empresas que almacenen las sustancias que se encuentran en la primera lista, éstas son las que se consideran actividades altamente peligrosas.

Para ubicar las empresas identificadas como de alto riesgo deberá usarse un mapa del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde aparezcan las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y las colonias que serían afectadas en caso de accidente.

Para hacer la ubicación en el mapa se sugiere utilizar la simbología establecida en la Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal, publicada por la Secretaría de Gobernación y el Sistema Nacional de Protección Civil.

V.- Trazado de áreas de peligro

Trace un círculo para representar el área de peligro alrededor de cada una de las empresas que tiene consideradas en el listado 1. Para esto, tome en cuenta los radios propuestos en la tabla 1.8, para llegar a esta tabla primero seleccione la sustancia de interés, búsquela en el apéndice A y obtenga el número de referencia, con este valor vaya a la tabla 1.7 y seleccione una cantidad de sustancia involucrada en caso de accidente y obtenga la categoría (definida por una letra), en la tabla 1.8 obtenga la distancia de peligro de acuerdo con esta categoría.

Consideraciones que se tomaron para la realización de las tablas anteriores:

- Se considera que el incidente que se presenta es el máximo posible, ya sea que ocurra en la industria o en el transporte terrestre.
- Los criterios para calcular el área donde se tiene el 100% de muerte debido a nubes tóxicas son:

  Concentración de la sustancia a un LC_{50} durante 30 minutos, para los seres humanos. Con estas condiciones se sobreestima, para el área de dicha concentración y se subestima, para la zona que está afuera de la concentración antes señalada, ya que algunas personas pueden ser sensibles a la sustancia en cuestión.

  Se calcula la dispersión para gases tóxicos a una estabilidad atmosférica de clase D, con la velocidad de viento de 5 m/s, estos factores se tomaron como condiciones ambientales promedio.

- Para incendio se considera la distancia a la cual se alcanza una radiación de 5-10 Kw/m^2 durante 30 minutos que causaría la muerte del 100% de las personas en dicha área.
- Para nubes explosivas, se consideró una presión de 0.3 bares para la zona de alto riesgo y de un bar para las inmediaciones.

Para trazar estas áreas de peligro debe emplearse un mapa con las características descritas en el punto III.

VI.- Estimación del número de personas con posibilidad de afectación

Ubicar las zonas habitacionales y de concentración de población como son: escuelas, hospitales, iglesias, centros comerciales y de entretenimiento, etcétera; dentro de las áreas de peligro establecidas en el punto anterior. Se debe conocer el número de personas o la densidad de población dentro de las áreas de afectación de las industrias que manejan sustancias peligrosas, para así poder estimar el número de personas que se encuentran dentro de la zona de peligro y en caso de accidente considerarlas para su evacuación.

Con la información obtenida en los pasos anteriores, se contará con el mapa de peligros debidos al almacenamiento de sustancias químicas peligrosas del municipio.

Tabla 1.4 Sub-sectores y ramas industriales de interés

Sector	Sub-sector	Rama
Minería	Minería metálica	Minería de hierro
		Minería de metales no ferrosos
Industrias manufactureras	Productos alimenticios	Carne
		Lácteos
		Aceites y grasas comestibles
		Azucarera
		Bebidas
	Papel y productos de papel	Manufactura de papel, imprenta y editorial
	sustancias químicas	Petroquímica básica
		Fabricación de sustancias químicas básicas
		Industria de fibras artificiales y/o sintéticas
		Agroquímicos
		Pinturas
		Refinación de petróleo
		Industria del hule
		Elaboración de productos plásticos
	Productos minerales no metálicos	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
		Fabricación de cemento, cal y otros productos minerales
	metal-mecánica	Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas
		Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales
		Industria automotriz
		Fabricación y/o ensamble de artículos de maquinaría, equipo y accesorios eléctricos
		Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso doméstico
		Fabricación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes
		Fabricación y/o ensamble de equipo de radio, televisión, comunicación y de uso médico
		Recubrimiento de metales
Almacenamiento de sustancias químicas	Almacenamiento y distribución	Almacenamiento de sustancias químicas
		Terminales Marítimas
		Almacenamiento de Amoniaco Anhidro
		Terminal de almacenamiento y distribución de combustibles

Fuente INEGI

Tabla 1.5 Sub-sectores económicos y sustancias químicas de interés

Sustancia	Sub-sectores					
	Sustancias Químicas	**Almacenamiento y distribución**	**Metal-mecánica**	**Alimentos**	**Minería metálica**	**Papel y Celulosa**
Acetato de etilo	XX	XX	XX	XX		
Acetato de butilo	XX	XX				
Acetato de vinilo	XX	XX				
Acetona	XX	XX	XX	XX		
Acrilato de etilo	XX	XX				
Ácido cianhídrico	XX	XX	XX		XX	
Ácido clorhídrico	XX	XX	XX	XX	XX	XX
Ácido fluorhídrico	XX					
Ácido nítrico	XX	XX	XX	XX		
Ácido sulfúrico	XX		XX	XX	XX	XX
Alcohol butílico	XX	XX				
Alcohol etílico	XX	XX	XX	XX		
Alcohol isopropílico	XX	XX				
Alcohol Metílico	XX		XX			
Amoniaco	XX	XX		XX	XX	
Benceno	XX	XX				
Bromuro de metilo						
Cianuro de sodio	XX	XX	XX		XX	
Cloro	XX		XX	XX	XX	XX
Cloruro de vinilo	XX					
Dimetilamina	XX	XX				XX
Dióxido de azufre					XX	XX
Disulfuro de carbono	XX				XX	XX
Estireno	XX	XX				
Fenol	XX	XX				
Formaldehído	XX	XX				
Gas L.P	XX		XX	XX	XX	XX
Gasolina	XX	XX				
Hexano	XX	XX		XX		
Heptano	XX	XX	XX		XX	
Hidrógeno	XX	XX	XX	XX		XX
Hidróxido de sodio	XX	XX	XX	XX	XX	XX
Metil etil cetona	XX					
Metil isobutil cetona	XX	XX				
Metil metacrilato	XX					
Monometilamina	XX	XX				
Óxido de etileno	XX					
Óxido de propileno	XX	XX				
Peróxido de hidrógeno	XX	XX				XX
Propano	XX	XX	XX		XX	
Tolueno	XX	XX	XX			XX
Xileno	XX	XX	XX			

Tabla 1.6 Ramas industriales y sustancias químicas de interés

Sustancia	Ramas industriales						
	Química	**Petro-química**	**Fibras y resinas sintéticas**	**Farmacéutica**	**Pinturas y barnices**	**Agro química**	**Plástico**
Acetato de etilo	XX	XX		XX	XX	XX	
Acetato de butilo	XX				XX		
Acetato de vinilo	XX	XX	XX		XX		
Acetona	XX	XX	XX	XX	XX		
Acrilato de etilo	XX		XX		XX		
Ácido cianhídrico	XX		XX		XX	XX	
Ácido clorhídrico	XX	XX					
Ácido fluorhídrico	XX						
Ácido nítrico	XX	XX		XX			
Ácido sulfúrico	XX	XX	XX		XX	XX	
Alcohol butílico	XX	XX	XX		XX		
Alcohol etílico	XX			XX		XX	XX
Alcohol isopropílico	XX	XX		XX	XX		
Alcohol metílico	XX	XX	XX	XX		XX	
Amoniaco	XX	XX				XX	
Benceno	XX	XX		XX		XX	
Bromuro de metilo						XX	
Cianuro de sodio	XX						
Cloro	XX	XX	XX	XX			
Cloruro de vinilo	XX	XX					
Dimetilamina	XX	XX		XX		XX	
Dióxido de azufre							
Disulfuro de carbono	XX					XX	
Estireno	XX	XX	XX				XX
Fenol	XX		XX		XX		
Formaldehído	XX		XX	XX		XX	XX
Gas L.P	XX	XX					
Gasolina		XX					
Hexano	XX	XX	XX	XX	XX		
Heptano	XX		XX	XX	XX	XX	
Hidrógeno	XX			XX	XX		
Hidróxido de sodio	XX	XX		XX		XX	
Metil etil cetona	XX	XX			XX		
Metil isobutil cetona	XX		XX	XX	XX	XX	
Metil metacrilato	XX				XX		
Monometilamina	XX	XX	XX	XX			
Óxido de etileno	XX	XX					
Óxido de propileno	XX		XX				
Peróxido de hidrógeno	XX		XX	XX		XX	
Propano	XX	XX	XX				XX
Tolueno	XX	XX	XX	XX	XX	XX	
Xileno	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX

Tabla 1.7 Identificación de la categoría por sustancia dependiendo de la cantidad involucrada en el incidente

No. de Referencia	Cantidad en toneladas							
	0.2-1	1-5	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000
1	—	—	—	—	—	A	B	B
2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	A	B	C	D	X
4	—	—	—	—	—	B	C	C
5	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	B	C	D	E	X
7	—	A	B	C	D	E	X	X
8	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	B	C	C	D	E	X	X
10	—	—	—	—	—	B	C	C
11	—	—	—	B	C	D	E	X
12	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	C	C	C	C	X	X
14	A	B	B	C	C	D	X	X
15	B	B	C	C	C	D	X	X
16	—	—	—	—	—	A	A	B
17	—	—	—	A	A	B	C	C
18	—	—	—	A	B	D	E	F
19	—	A	C	D	X	X	X	X
20	—	B	D	E	F	G	X	X
21	—	B	C	D	E	F	F	X
22	—	—	A	B	C	E	F	G
23	B	C	D	E	X	X	X	X
24	C	D	E	F	G	G	X	X
25	B	C	D	E	F	F	G	X
26	A	B	C	E	F	G	G	H
27	C	D	E	F	X	X	X	X
28	D	E	F	G	H	H	X	X
29	C	D	E	F	G	H	H	X
30	A	B	B	C	C	D	D	D
31	B	C	C	D	E	F	F	G
32	C	D	E	E	F	G	G	X
33	D	E	F	G	G	H	X	X
34	E	F	G	H	H	X	X	X
35	—	—	—	A	A	B	B	C
36	—	A	B	C	D	D	E	F
37	B	C	D	E	E	F	F	G
38	D	E	F	F	G	G	X	X
39	E	F	G	H	H	X	X	X
40	—	—	—	—	—	—	—	—
41	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	B	D	E	E	X
44	—	A	A	C	E	F	F	X
45	—	—	A	B	C	D	D	X
46	—	—	—	A	C	D	D	X

X : Significa que esta combinación de sustancia con la cantidad liberada no es posible en la práctica

— : Significa que se ignoran los efectos.

Fuente: IAEA, s/f, Manual for the classification and priorization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA-TECDOC-727, 1996.

Tabla 1.8 Distancias de peligro por Categoría

Categoría	Distancias (m)
A	0-25
B	25-50
C	50-100
D	100-200
E	200-500
F	500-1000
G	1000-3000
H	3000-10000

Fuente: IAEA, s/f, Manual for the classification and priorization of risks due to major accidents in process and related industries. IAEA-TECDOC-727, 1996.

1.5.2.2 Procedimiento para la elaboración de mapas de peligro en el transporte terrestre de materiales peligrosos

El propósito de los mapas de peligros en el transporte de sustancias y materiales peligrosos es identificar las vías terrestres empleadas, los materiales transportados, los posibles tipos de peligro y las áreas de peligro. Para elaborar los mapas de peligros se requiere de información diversa sobre los vehículos que transportan sustancias y materiales peligrosos, esta información incluye las características generales de las unidades de transporte, de las sustancias y materiales transportados, las vías de comunicación por donde transitan las unidades de transporte, y sobre los accidentes ocurridos.

El procedimiento que se describe a continuación fue desarrollado considerando que existen las siguientes limitaciones:

- Carencia de registros sobre accidentes en transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos; lo cual impide determinar las frecuencias de los accidentes y realizar su análisis para obtener por ejemplo: tasas de accidentes para cada tipo de carretera, tasa de accidentes para carreteras específicas o sus segmentos, probabilidades de liberación de sustancias y materiales peligrosos, probabilidades de liberación de acuerdo al tipo de accidente, etcétera; cada uno de los anteriores aplicable para los diferentes modos de transporte.

- Carencia de información sobre volúmenes de tráfico vehicular en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos para cada una de las carreteras, vías férreas y en general de las vías de comunicación existentes

- Carencia de información sobre volúmenes de tráfico vehicular, sin considerar el tipo de unidad de transporte empleado y para cada uno de los diferentes tipos de unidades de transporte.

En caso de tener la información anterior será posible la aplicación de procedimientos más refinados, por ejemplo análisis de riesgos, los cuales deberán ser cubiertos en etapas posteriores.

Primera etapa: mapa de peligro

I.- Ubicación de vías de transporte

Ubicar en el mapa del municipio las vías (carreteras de jurisdicción federal, estatal o local, vías férreas, etc) por donde transitan o pueden transitar vehículos con sustancias o materiales peligrosos.

Para esto se recomienda emplear mapas elaborados por el *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)* escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde pueden representarse las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y las colonias que serían afectadas en caso de accidente.

Para hacer la ubicación en el mapa utilice la simbología establecida en la *Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal*, elaborada por la Secretaría de Gobernación y el Sistema Nacional de Protección Civil.

II.- Identificación de sustancias y materiales peligrosos transportados

Identifique si en su municipio se transportan sustancias y materiales peligrosos, los vehículos que llevan sustancias y materiales peligrosos deben portar carteles de identificación (figuras 1.2 y 1.3) de acuerdo con la norma oficial mexicana emitida por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes NOM-004-SCT-2000 *Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos*; para determinar la sustancia o material peligroso que es transportado de acuerdo al número de las Naciones Unidas (UN) emplee la norma oficial mexicana NOM-002-SCT-2003 *Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados* o la *Guía de Respuesta a Emergencias* (secciones amarilla y azul). La identificación de las sustancias y materiales peligrosos que se transportan se deberá realizar para cada uno de los medios de transporte terrestre (autotransporte y ferroviario) en las carreteras o vías férreas de interés.

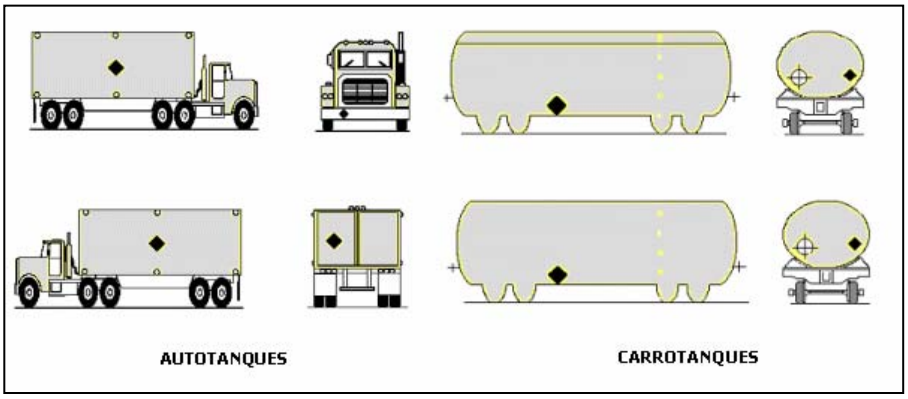


Figura 1.2 Ubicación de carteles para el transporte de sustancias y materiales peligrosos en autotransporte

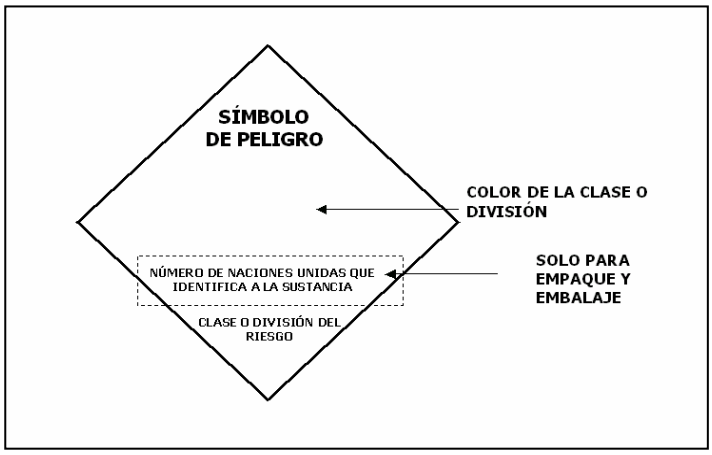


Figura 1.3 Rombo de transporte

III.- Determinación del número de unidades que transportan sustancias y materiales peligrosos

Para cada una de las carreteras, calles, avenidas, vías férreas, etcétera, de interés, identifique qué sustancias o materiales peligrosos se transportan, para esto se deberá realizar un conteo, lo más representativo posible, sobre el transporte de sustancias y materiales peligrosos; considerando la variabilidad debida a los días de la semana, hora del día y la variabilidad estacional.

Es posible solicitar a la delegación estatal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes información sobre los volúmenes de tráfico de sustancias y materiales peligrosos, en las carreteras federales de interés. De no estar disponible dicha información se deberá recopilar considerando lo siguiente:

- Identificación de la carretera o vía férrea, éstas pueden dividirse en secciones o tramos las cuales deberán identificarse apropiadamente.

- Identificación del tipo de carretera o vía férrea, para vías de jurisdicción federal, la clasificación para dicha identificación está contenida en el *Apéndice para la clasificación de los caminos y puentes a que se refiere el artículo 6º del Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal,* publicado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

- Identificación del tipo de vehículo, para esto se deberá utilizar la nomenclatura indicada en la norma oficial mexicana NOM-012-SCT2-1995 *Sobre el peso y las dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal*.

- Material transportado por cada unidad de transporte (de acuerdo con los carteles de las unidades, la hoja de emergencia en transportación o las etiquetas de los envases).

- Peso o volumen transportado, lo anterior podrá deducirse de acuerdo a las características de las unidades de transporte contenidas en la norma oficial mexicana NOM-012-SCT2-1995 Fecha en que se realiza el conteo de unidades de transporte.

- Hora del día en que se realiza el conteo.

- Número total de unidades que transportan materiales peligrosos por unidad de tiempo (puede ser por hora, día, mes y año); el número total de unidades puede agruparse para cada tipo de unidad (C2-R2, T2-S1, T2-S2, etc.) para lo cual utilice la norma oficial mexicana NOM-012-SCT2-1995.

Los puntos II y III están relacionados por lo que preferentemente deben realizarse de manera simultánea.

IV.- Identificación de peligros y posibles áreas de afectación

El que suceda un accidente durante el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos en el cual exista una liberación (fuga o derrame) depende de diversos factores (características de la carretera, operador, condiciones ambientales, características del vehículo, etc.). Asimismo, el número de accidentes en una vía de comunicación (tasa de accidentes) depende tanto de los factores antes citados como del número de unidades que transitan la vía de interés en un tiempo considerado. Para determinar las zonas de afectación debido a la liberación de sustancias o materiales peligrosos se utilizan modelos de simulación los cuales requieren de información diversa, por ejemplo: volumen derramado y velocidad del viento.

Lo anterior dificulta establecer generalizaciones que permitan abarcar las particularidades de los accidentes; sin embargo, de manera general las estadísticas sobre frecuencia de accidentes con liberaciones menores de sustancias y materiales peligrosos es mayor que la correspondiente a liberaciones mayores, esto permite recomendar que para determinar una distancia de seguridad en las vías de comunicación pueda emplearse la contenida en la sección verde de la *Guía de Respuesta en Caso de Emergencia* en la columna *"derrames pequeños","primero AISLAR a la redonda"*.

La *Guía de Respuesta a Emergencia,* la cual consta de cuatro secciones, indica que la sección verde se emplea cuando no existe incendio de la sustancia o material peligroso, cuando las sustancias y materiales señalados en las secciones amarilla y/o azul se incendiaron deberá emplearse lo indicado en las guías contenidas en la sección naranja en lo correspondiente a *"Evacuación"*; sin embargo, determinar cuando en un accidente la sustancia o material peligroso involucrado se incendiará y establecer la distancia de seguridad solo podrá realizarse considerando los registros disponibles sobre accidentes o durante el desarrollo del evento (accidente).

Las sustancias y materiales peligrosos contenidos en la sección verde de la *Guía de Respuesta en Caso de Emergencia* no incluye a todas las sustancias y materiales posibles, cuando la sustancia identificada no puede localizarse en esta sección utilice las tablas del *Apéndice A Lista de sustancias* la cual incluye un número de referencia para cada sustancia, considerando sus propiedades, la cual corresponderá en la *tabla 1.7 Identificación de la categoría por sustancia dependiendo de la cantidad involucrada en el incidente,* una letra de acuerdo a la columna que se seleccione. Se recomienda seleccionar la primera o segunda columna (0.2 a 1 toneladas ó 1 a 5 toneladas) ya que éstas se pueden considerar derrames menores o medianos. Con la letra identificada de acuerdo al número de referencia para la sustancia y al tamaño del derrame, se determina la distancia de peligro en la *tabla 1.8 Distancias de peligro por categoría*.

La distancia de seguridad se deberá medir a partir de ambos lados al final del área de acotamiento de la carretera, en el caso de calles, carreteras y otras vías que poseen banqueta, la distancia se medirá con respecto al inicio de la banqueta (fin de la superficie de la carretera). Lo anterior implica considerar que la unidad de transporte no sale del camino o vía de comunicación.

Cuando se dispone de información de los accidentes ocurridos en las vías de comunicación de interés, esto permite determinar con mayor certidumbre los peligros existentes, la ubicación de puntos conflictivos y la identificación de las sustancias o materiales involucrados.

Esta *Guía de Respuesta a Emergencia* se puede obtener en la dirección de internet http://hazmat.dot.gov/gydebook.htm y seleccionar la versión en español, o bien se puede adquirir el documento impreso en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Autotransporte Federal en Calzada de las Bombas No. 411, Col. Los Girasoles, Delegación Coyoacán C.P. 049020, Tel. 56-77-35-61.

V.- Elaboración del mapa de peligros

Con la información obtenida en los puntos anteriores se podrán elaborar diferentes mapas de peligro de acuerdo con las sustancias y materiales peligrosos transportados en el área de interés.

Cuando en la vía de comunicación seleccionada se transporten diversas sustancias o materiales peligrosos se puede hacer un mapa en el cual éstas se agrupen de acuerdo con la clase a que pertenecen (clasificación de sustancias y materiales peligrosos establecida por la SCT en el *Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos*), o simplemente establecer las áreas de peligro (áreas generadas por la distancia de seguridad) indicando el tipo de peligro (incendio, nube tóxica o explosión) sin especificar los materiales involucrados.

Para la actualización de los mapas de peligros es recomendable establecer un registro sobre los accidentes ocurridos en el transporte de sustancias y materiales peligrosos que incluyan como mínimo: las características del vehículo, lugar donde ocurrió, fecha y hora, material involucrado, tipo de evento (incendio, fuga, etc.), volumen o peso derramado, volumen o peso total del material transportado, área afectada, número de lesionados y tipos de lesión. El análisis de dicho registro permitirá identificar con mayor precisión los puntos donde se presentan mayor número de accidentes, los materiales mas frecuentemente accidentados, lo que posibilita una reevaluación de la distancia de seguridad, por ejemplo: en cuáles situaciones es preferible usar la distancia contenida en la sección verde de la *Guía de Respuesta a Emergencia* en la columna *"derrames pequeños" "primero AISLAR a la redonda"* o lo indicado en las guías contenidas en la sección naranja en lo correspondiente a *"Evacuación"*.

1.5.2.3 Procedimiento para la elaboración de mapas de peligro para el transporte de materiales peligrosos por ductos

Cuando en un mapa se ubican los peligros, por ejemplo ductos que transportan sustancias peligrosas, éste se considera un mapa de peligros (o mapa inventario de peligros); cuando en dicho mapa se establecen las posibles áreas de afectación debido por ejemplo al incendio de una sustancia peligrosa producto de una liberación, el mapa también puede considerarse como de peligros, si no se consideran las probabilidades de falla y la posible exposición de la población. Un mapa de riesgos requiere que en las áreas determinadas como de afectación sea determinado el riesgo, ya sea de manera cuantitativa o cualitativa, es decir en el área se deberá establecer una medida de riesgo ya sea de daño (lesiones) o muerte, por ejemplo el riesgo individual para el área comprendida por un radio de 50 metros alrededor de un ducto determinado en el segmento km 100 a km 102 es igual a 1×10^{-5} muerte/año.

El procedimiento que se explica a continuación fue desarrollado considerando que existen las siguientes limitaciones:

- Carencia de registros sobre accidentes en ductos que transportan sustancias peligrosas; esto impide determinar las frecuencias para accidentes y realizar el análisis para obtener por ejemplo: tasas de falla para cada tipo de ducto, tasas de falla por tipo, tasa de falla para ductos específicos o sus segmentos, probabilidades de liberación, probabilidades de liberación de acuerdo con la causa de falla, etcétera.

- No disponer de información sobre la ubicación y trayectoria de los diferentes ductos.

- No disponer de información sobre las características de diseño y condiciones de operación de los diferentes ductos.

- Carencia de información sobre el estado de conservación de los ductos que transportan sustancias peligrosas.

En caso de poseer la información anterior será posible la aplicación de procedimientos más refinados, por ejemplo análisis de riesgos, los cuales deberán ser cubiertos en etapas posteriores y realizados por especialistas.

Primera etapa: mapas de peligro

I.- Identificación de los ductos y de la sustancia transportada en el municipio o zona de interés

La identificación de las tuberías superficiales y subterráneas existentes en el municipio o zona de interés puede realizarse mediante visita de campo y el reconocimiento visual de los diferentes tipos de señalamientos y de los colores para la identificación del material transportado que poseen las tuberías. Para ductos que transportan y distribuyen hidrocarburos, los señalamientos y colores de identificación deben estar de acuerdo con lo establecido en las normas de referencia *NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento* y *NRF-030-PEMEX-2003 Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos*.

Para determinar la señalización de los ductos para la distribución de gas natural y gas licuado de petróleo se considerarán las normas de referencia *NRF-009-PEMEX-2001*, *NRF-030-PEMEX-2003* y la norma oficial mexicana *NOM-003-SECRE-2002 Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos*; para tuberías enterradas y superficiales debe contemplarse lo indicado en la NOM anterior y lo indicado en la *NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías*.

Determinar cuáles ductos o tuberías conducen materiales peligrosos. El material transportado puede identificarse por medio del código de colores y otras medidas contenidas en *NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidos en tanques de almacenamiento*.

Las normas de referencia indicadas anteriormente pueden obtenerse en www.pemex.com anotando en el buscador de esta página “normas de referencia”.

II.- Ubicar los ductos en el mapa del municipio

Ubicar la trayectoria de los ductos que conducen sustancias peligrosas: origen, puntos intermedios y destino. La trayectoria de un ducto puede determinarse en un plano guía por medio de la revisión visual del ducto y de los señalamientos existentes; otra manera más precisa será su ubicación mediante una revisión visual y el empleo de aparatos de geo-referenciación (GPS, Global Positioning System); sin embargo, para su representación y manejo se requiere de un sistema de información geográfica (GIS, Geographic Information System).

Determinar también el diámetro para cada sección o segmento del ducto, lo anterior debido a que el diámetro de la tubería puede cambiar a lo largo de la trayectoria

Por último, ubicar a lo largo de la trayectoria del ducto:

- Extensión del derecho de vía, es posible que en un derecho de vía puedan estar ubicados más de un ducto, cuando esto suceda se deberá identificar cada ducto.
- Válvulas de seccionamiento.
- Trampas de diablos.
- Desvíos (bypass).
- Cruces con: vías de ferrocarril, caminos, carreteras y cuerpos de agua (ríos, arroyos, pantanos, etcétera).
- Ramales y sus características.
- Señalización y sus características.
- Estaciones de bombeo y compresión.
- Estaciones de medición.

Para obtener la información anterior deberán realizarse visitas de campo a lo largo de la trayectoria del ducto y ponerse en contacto con el administrador o propietario de los ductos.

El documento *"Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal"* publicado por la Secretaría de Gobernación establece tres tipos posibles de mapas:

Mapa referencia (I), el municipio dentro del estado, escala 1:100,000, donde aparecen las principales características geomorfológicas, como son los cerros y los ríos; las vías de comunicación más importantes; y los agentes perturbadores sobresalientes.

Mapa del municipio (II), escala 1:50,000, incluye las características del relieve y el ordenamiento territorial en forma más específica, es decir, por una parte es posible identificar las zonas de vegetación, las elevaciones o cañadas por las curvas de nivel, y por otra, los asentamientos humanos, incluyendo la traza urbana y las vías de comunicación, así como el señalamiento de los municipios con los que limita.

Mapa síntesis de riesgos (III), escala 1:20,000, en el que se localizan los agentes perturbadores con el mayor detalle posible dentro del municipio, así como su área de influencia, marcando como zonas de alto riesgo aquéllas habitadas por concentraciones humanas o complejos de actividades económicas que pueden resultar afectadas en caso de desastre. En este mapa es posible identificar con claridad la traza urbana y cuáles colonias serán afectadas por un determinado

agente perturbador. Un mapa de esta escala, contiene la localización de los agentes perturbadores y las zonas de riesgo.

El mapa a escala 1:20,000 es el apropiado para ubicar con detalle los ductos empleados para el transporte de sustancias peligrosas.

Asimismo, el *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)* define una notación para cada tipo de ducto (ver el documento *Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal*) la cual deberá emplearse en la elaboración del mapa de peligro.

III.- Identificación de la sustancia transportada

Identificar qué producto o productos son transportados en cada uno de los ductos. El material transportado puede identificarse por medio del código de colores y otras medidas contenidas en *NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidas en tanques de almacenamiento*. Los ductos para la distribución de gas natural y gas licuado de petróleo deben estar señalizados de acuerdo con la *NOM-003-SECRE-2002 Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos*; para tuberías superficiales debe contemplarse lo indicado en la NOM anterior y lo indicado en la *NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.*

Para el caso de ductos que trasladan gas natural, determinar cuáles son para transporte y cuáles para distribución.

Determinar las características del material transportado:

- Estado físico del material: líquido, gas, dos fases (líquido y gas)
- Presión de operación, en libras sobre pulgada cuadrada o kilogramos sobre centímetro cuadrado
- Temperatura del material, en grados centígrados
- Operador: indicar qué subsidiaria de Petróleos Mexicanos es la responsable de la operación del ducto, o determinar si el ducto es propiedad y es operado por alguna empresa privada por ejemplo: Metrogas, Gas de Baja California, etcétera.

Con la información recopilada en los puntos I, II y III es posible elaborar el mapa de objetos peligro de la zona o localidad de interés.

IV.- Determinación de la distancia de seguridad para el ducto

Para determinar la distancia de seguridad de un ducto se utilizará la tabla 1.9 en la cual se indica dicha distancia de acuerdo con el diámetro nominal de la tubería, la presión de operación y la sustancia transportada. La distancia se mide en ambos lados a lo largo del eje del ducto.

Tabla 1.9 Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos

Diámetro (pulgadas)	Área de trampas de diablos	Gasoducto		Oleoducto y gasolinoducto	Gasoducto	
		100 > P ≥ 80 kg/cm^2	80 > P ≥ 50 kg/cm^2		50 > P ≥ 15 kg/cm^2	P < 15 kg/cm^2
48	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
36	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
30	250 m	200 m	150 m	150 m	100 m	50 m
24	200 m	150 m	150 m	100 m	100 m	50 m
20	200 m	150 m	100 m	100 m	100 m	50 m
18	150 m	100 m	100 m	100 m	75 m	35 m
16	150 m	100 m	100 m	75 m	75 m	35 m
14	150 m	100 m	75 m	75 m	75 m	35 m
12	150 m	100 m	75 m	75 m	75 m	35 m
10	100 m	75 m	75 m	75 m	50 m	35 m
8	100 m	75 m	75 m	50 m	50 m	35 m
6	75 m	75 m	75 m	50 m	35 m	35 m
4	75 m	50 m	50 m	35 m	35 m	35 m
3	50 m	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m
2	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m	35 m

m: metros
P: presión
Fuente: *Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos*, Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C. 7º Congreso Internacional de Ductos, Puebla, Pue., noviembre, 2003.

Estas distancias de seguridad fueron desarrolladas a partir del análisis de diversos accidentes y del empleo de modelos de simulación. En la simulación de consecuencias se emplearon las siguientes cantidades umbral:

Tabla 1.10 Tipos de riesgo

Tipo de riesgo	Umbral
Radiación térmica (jet fire y pool fire)	1.4 Kw/m^2
Imflamabilidad (flash fire)	4 %
Explosividad	0.5 lb/pulg^2

Fuente: *Distancias de seguridad en ductos de transporte de hidrocarburos*, Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C.. 7º Congreso Internacional de Ductos, Puebla, Pue., noviembre, 2003.

Cuando exista más de un ducto en el derecho de vía, debido a que no se tiene información suficiente sobre el posible impacto de la ruptura de un ducto a otro(s) se considerará la distancia mayor determinada para los ductos que se alojan en el derecho de vía.

Otra manera de calcular la zona de seguridad puede ser el establecido en el *Federal Register Vol.68 No. 18 enero 28, 2003;* correspondiente al *Código de Regulaciones Federales 49 parte 192.761(49 CFR Part 192.761)* y contenido en el apéndice A de dicha publicación, el cual contiene una fórmula para determinar el radio de impacto potencial. Dicho radio calculado mediante esta fórmula es similar a las distancias señaladas en la tabla 1.9.

Sin embargo, el procedimiento indicado en el Registro Federal de los Estados Unidos (*Federal Register)* establece que cuando el radio de impacto potencial es inferior a 300 pies se considerará a esta distancia como el radio umbral, por lo tanto se contempla como zona de impacto potencial al área generada por una distancia de 300 pies contados a partir del eje de la tubería a cada

uno de los lados (ancho total de la franja de 600 pies); cuando el radio de impacto potencial es superior a 300 pies e inferior a 660 pies se considerará como el radio umbral a 660 pies y la zona de impacto potencial en ambos lados de 660 pies (ancho total de la franja de 1320 pies); y cuando el radio de impacto potencial es superior a 660 pies se considerará como el radio umbral a 1000 pies y la zona de impacto potencial en ambos lados de 1000 pies (ancho total de la franja de 2000 pies). Información más detallada de lo establecido en el *Federal Register Vol. 68 No. 18 enero 28, 2003*, y de cómo determinar la zona de seguridad se encuentra en el apéndice C.

Considerando lo anterior, es posible hacer una combinación, utilizando las distancias contenidas en la tabla 1.9 y el criterio correspondiente para determinar la zona de impacto potencial establecida en el Registro Federal de los Estados Unidos. Sin embargo, las consideraciones para determinar la zona de impacto potencial están destinadas a proporcionar un margen adicional de seguridad, característica deseable en casos de prevención, pero complicada cuando se emplea para regular el uso del suelo y la comunicación de peligros.

V.- Trazar en el mapa de la localidad la zona de seguridad para los ductos que transportan sustancias peligrosas

Una vez determinada la distancia de seguridad para cada uno de los ductos que transportan sustancias peligrosas; en el mapa del municipio o de la zona de interés, obtenido en el punto II, se trazan las zonas de seguridad (que en este caso equivalen a las zonas de peligro) a lo largo de la trayectoria para cada uno de los ductos. Dicha distancia se medirá con respecto al eje central de la tubería en ambos lados de la trayectoria. Las zonas de peligro serán las posiblemente afectadas en caso de suceder una liberación de sustancias peligrosas.

1.5.3 Ejemplo de aplicación del "Procedimiento para la elaboración del mapa de peligro debido al almacenamiento de sustancias peligrosas"

I.- Identificación de industrias que manejan sustancias peligrosas

Mediante la revisión de los programas de prevención de accidentes entregados a la delegación estatal de SEMARNAT, o bien por visita directa a las industrias, se identifican aquéllas que manejan sustancias químicas y/o materiales peligrosos en su municipio, obteniendo su dirección y de ser posible se establece su ubicación geográfica (latitud y longitud), esto puede hacerse con el uso de un GPS (Global Positioning System, sistema de posicionamiento global).

Para guiarse sobre el tipo de industrias que se deben ubicar se toma como guía la tabla 1.4 Sub-sectores y ramas industriales de interés, y se incluyen puertos, aduanas, instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro, distribuidores de productos agroquímicos, gaseras, plantas de tratamiento de agua potable y residual, estaciones de carburación y otras instalaciones de interés.

Tabla 1.11 Ejemplo de localización de industrias en el municipio

Nombre de la empresa	Dirección	Coordenadas geográficas		Municipio	Estado
		Altitud	Longitud		
Resinas de México S.A de C.V.	Carretera Saltillo-Monterrey Km 11.5	25°40'58''	100°16'18''	Ramos Arizpe	Coahuila
Jovit S.A de C.V.	Calle de la Democracia No. 23 Col. Progreso	25°41'00''	100°17°22''	Ramos Arizpe	Coahuila
Thonmex S.A de C.V.	Calle La Estrella No. 105 Col. El Manantial	25°41'17''	100°16'45''	Ramos Arizpe	Coahuila
Aguas Residuales de Coahuila	Col. Colina del Perro	25°40'03''	100°16'02''	Ramos Arizpe	Coahuila
Gas El Ranchito	Calle del Pino No. 433 Col. Niño Perdido	25°40'27''	100°17|'00''	Ramos Arizpe	Coahuila

II.- Identificación de sustancias peligrosas almacenadas

Se identifican las sustancias químicas que almacenan las industrias localizadas en el punto anterior, para lo cual pueden servir de guía las tablas 1.5 y 1.6, donde se enlistan las principales sustancias más peligrosas almacenadas en el país por giro industrial.

Por ejemplo si en su municipio existen 4 industrias que almacenan acetona, ácido sulfúrico, alcohol isopropílico, cloro y hexano y una gasera que almacena gas L.P, se deben obtener los nombres de las sustancias, el volumen almacenado, el número CAS (Chemical Abstract Service), el número de Naciones Unidas (UN) y el índice de peligro para la salud, inflamabilidad y reactividad de acuerdo con la NFPA (National Fire Protection Association, en español Asociación Nacional para la Protección de Incendios), esta información puede capturarse como se muestra en la tabla 1.12.

Tabla 1.12 Ejemplo de identificación de sustancias y volúmenes almacenados en las industrias

Sustancia	Volumen almacenado (ton)	Número UN	Índice de peligro de acuerdo con NFPA		
			Salud (Azul)	Inflamabilidad (Rojo)	Reactividad (Amarillo)
Acetona	35	1090	2	3	0
Ácido sulfúrico	12.3	1053	3	0	2
Alcohol isopropílico	65.5	1219	2	3	0
Cloro	8.2	1017	3	0	0
Gas L.P	300.5	1075	1	4	0
Hexano	76	1208	3	4	0

III.- Comparación de los volúmenes de almacenamiento con la cantidad de reporte

Se compara el volumen de almacenamiento de las sustancias peligrosas con la cantidad de reporte que se encuentra en el Primer listado (manejo de sustancias tóxicas, publicado el 28 de

marzo de 1990 en el Diario Oficial de la Federación) y el Segundo listado (Manejo de sustancias inflamables y explosivas, publicado el 4 de mayo de 1992 en el Diario Oficial de la Federación) de actividades altamente riesgosas, para considerar solamente las sustancias que se almacenen en una cantidad igual o mayor a la cantidad de reporte.

Tabla 1.13 Ejemplo de la elaboración de la Lista No. 1 con las sustancias con índice de peligro de 3 y 4 y comparación de volumen almacenado

Sustancia	Volumen almacenado	Cantidad de reporte	Es mayor que la cantidad de reporte
Acetona	35,000 kg	20,000 kg	Si
Ácido sulfúrico	12,300 kg	10,000 kg	Si
Alcohol isopropílico	65,500 kg	100,000 kg	No
Cloro	8,200 kg	1 kg	Si
Gas L.P	300	50,000 kg	Si
Hexano	76,000 kg	20,000 kg	Si

Tabla 1.14 Ejemplo de la elaboración de la Lista No. 2 de comparación de volúmenes almacenados que no rebasan la cantidad de reporte

Sustancia	Volumen almacenado	Cantidad de reporte	Es mayor que la cantidad de reporte
Alcohol isopropílico	65,500 kg	100,000 kg	No

IV.- Ubicación en un mapa del municipio de las empresas que almacenan sustancias peligrosas

Se ubica en un mapa del municipio las empresas que almacenen las sustancias que se encuentran en la primera lista, éstas son las que se consideran actividades altamente peligrosas.

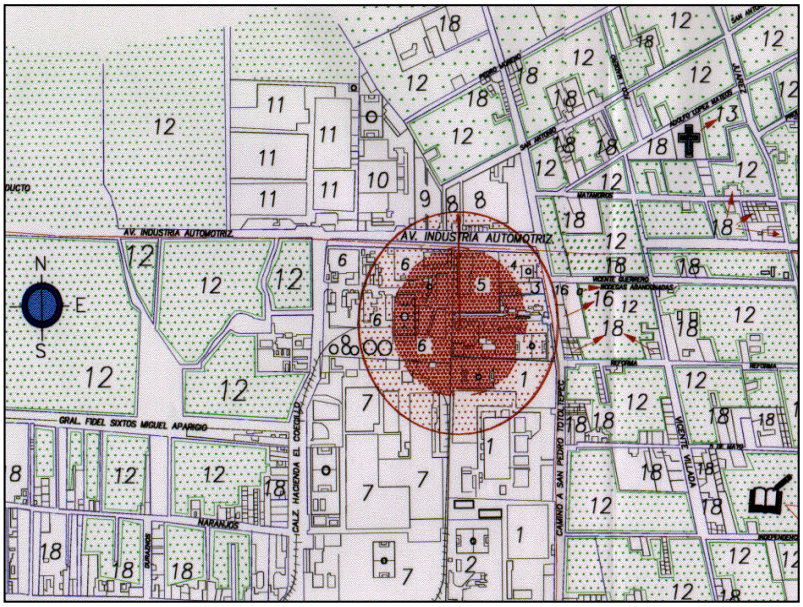


Figura 1. 4 Ubicación en un mapa de una industria con sus radios de afectación

Para ubicar las empresas identificadas como de alto riesgo deberá usarse un mapa del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde aparezcan las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y cuáles colonias serían afectadas en caso de accidente.

V.- Trazado de áreas de peligro

Se traza un círculo para representar el área de peligro alrededor de cada una de las empresas que se tienen consideradas en el listado 1. Para esto se toma en cuenta los radios propuestos en la tabla 1.8, para llegar a esta tabla primero se selecciona la sustancia de interés, se busca en el apéndice A de este documento y se obtiene el número de referencia, con este valor se busca en la tabla 1.7 y se selecciona una cantidad de sustancia involucrada en caso de accidente, a continuación se obtiene la categoría (definida por una letra), con esta letra se busca en la tabla 1.8 y finalmente se obtiene la distancia de peligro de acuerdo con esta categoría.

Sustancia de interés: *Acetona*

Apéndice A

Número de Referencia	Tipo de sustancia	Sustancia (ejemplo)
1-3	Líquido inflamable, presión de vapor < 0.3 bar a 20°C, (punto de inflamación ≤ 20°C)	Acetal
		Acetaldehído
		Acetato de etilo
		Acetato de isobutilo
		Acetato de metilo
		Acetato de propilo
		Acetato de vinilo
		Acetona
		Acetonitrilo
		Acrilato de etilo
		Benceno

Número de referencia: 1-3

Tabla 1.7 Ejemplo de identificación de la categoría por sustancia dependiendo de la cantidad liberada en el incidente

No. de Referencia	Cantidad en toneladas							
	0.2-1	1-5	5-10	10-50	50-200	200-1000	1000-5000	5000-10000
1	—	—	—	—	—	A	B	B
2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	A	B	C	D	X
4	—	—	—	—	—	B	C	C
5	—	—	—	—	—	—	—	—

Categoría: A

Tabla 1.8 Ejemplo de las distancias de peligro por categoría

Categoría	Distancias (m)
A	0-25
B	25-50
C	50-100
D	100-200

Distancia de afectación: 25 m

En este caso el área de afectación no rebasa los límites de propiedad de la empresa, quedando contenida dentro de su terreno sin provocar afectación a la población de los alrededores.

VI.- Estimación del número de personas con posibilidad de afectación

Se ubican las zonas habitacionales y de concentración de población como son: escuelas, hospitales, iglesias, centros comerciales y de entretenimiento, etcétera; dentro de las áreas de peligro establecidas en el punto anterior. Se debe conocer el número de personas o la densidad de población dentro de las áreas de afectación de las industrias que manejan sustancias peligrosas, para así poder estimar el número de personas que se encuentran dentro de la zona de peligro y en caso de accidente considerarlas para su evacuación.

Con la información obtenida en los pasos anteriores se contará con el mapa de peligros debidos al almacenamiento de sustancias químicas peligrosas del municipio.

Se concluye que las únicas personas que podrían sufrir daño en caso de accidente que involucre en este caso particular a la acetona, serían los trabajadores en el interior de la instalación industrial.

El mismo procedimiento deberá seguirse para las otras sustancias almacenadas en este caso en el municipio de ejemplo.

1.6 CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El objetivo del presente documento *Riesgos Químicos* ha sido establecer las bases para identificar los peligros y determinar las zonas de peligro durante el almacenamiento, manejo y transporte (terrestre y por tubería) de sustancias y materiales peligrosos.

Conscientes de que en los municipios y estados del país se manejan diferentes sustancias y materiales peligrosos, este documento proporciona a las unidades estatales y municipales de Protección Civil y a las instituciones que participan en la atención de emergencias, una herramienta sencilla y fácil de utilizar.

Los procedimientos incluidos en esta sección se enfocan a la identificación, localización y ubicación de peligros, en lo correspondiente a almacenamiento, transporte terrestre y transporte por tuberías; asimismo, se pretende homogenizar los planteamientos existentes para la elaboración de mapas de peligros

Los procedimientos desarrollan de manera general las siguientes etapas:

1. Localizar en un plano base las instalaciones donde se manejan y almacenan sustancias peligrosas, así como las vías de comunicación por las cuales se transportan estas sustancias y materiales peligrosos.
2. Establecer los posibles accidentes, incidentes y sus resultados.
3. Establecer las áreas de afectación debido a incidentes con sustancias y materiales peligrosos.
4. Señalar los puntos o sitios de interés que pueden verse afectados.

En este trabajo se describen tres procedimientos. En el primero, destinado a la elaboración de mapas de peligro para el almacenamiento de materiales peligrosos, puede observarse que las tablas, desarrolladas por la Agencia Internacional de Energía Atómica y otras instituciones, donde se establecen las distancias de seguridad para almacenamiento o transporte de sustancias peligrosas consideran diferentes simplificaciones por lo cual las distancias obtenidas son una guía o referencia y no determinan de manera precisa las distancias de seguridad, por lo que la determinación precisa de las distancias de peligro, deberá realizarse mediante un estudio de riesgo detallado de la instalación de interés cuando así se requiera.

El procedimiento para la elaboración de mapas de peligros en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos fue desarrollado considerando las siguientes limitaciones:

- Falta de disponibilidad de los registros sobre accidentes en transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos.
- Falta de información sobre volúmenes de tráfico vehicular en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos para cada una de las carreteras y vías férreas.
- Carencia de información sobre volúmenes de tráfico vehicular, de acuerdo con los diferentes tipos de unidades de transporte.

El procedimiento para la elaboración de mapas de peligros para el transporte de materiales peligrosos por ductos fue desarrollado con el propósito inicial de ubicar la trayectoria de los diferentes ductos considerando las siguientes limitaciones:

- Falta de disponibilidad de los registros sobre accidentes en ductos que transportan sustancias peligrosas; esto impide determinar las frecuencias para accidentes y realizar el análisis para obtener por ejemplo: tasas de falla para cada tipo de ducto, tasas de falla por tipo, tasa de falla para ductos específicos o sus segmentos, probabilidades de liberación, probabilidades de liberación de acuerdo a la causa de falla, etcétera.
- Carencia de información sobre la ubicación y trayectoria de los diferentes ductos.
- Carencia de información sobre las características de diseño y condiciones de operación de los diferentes ductos.
- Carencia de información sobre el estado de conservación de los ductos que transportan sustancias peligrosas.

Las distancias de seguridad para asentamientos humanos con respecto a ductos de transporte establecidas en esta sección pueden aplicarse a gasoductos, oleoductos, gasolinoductos y las trampas de diablos de los anteriores; sin embargo, faltan establecer las distancias de seguridad para ductos que transportan otras sustancias peligrosas, por ejemplo: amoniaco, etano, etcétera. Las distancias de seguridad fueron establecidas considerando los criterios de radiación térmica, inflamabilidad y explosividad; y no se incluyó el criterio de toxicidad. Para tuberías que transportan sustancias tóxicas no se han determinado distancias de seguridad, por lo que éstas deberán desarrollarse considerando el criterio de toxicidad, por medio de modelos de simulación.

De esta manera los procedimientos presentados podrán emplearse en un primer análisis con un alto grado de confiabilidad para los diferentes tomadores de decisiones, pero es necesaria la realización de estudios más detallados como son modelaciones y simulaciones mediante el uso de programas de cómputo especializados, en cada una de las instalaciones industriales de alto riesgo que hayan sido identificadas en estados y municipios, incluyendo las carreteras por las cuales se deben de transportar de acuerdo con la reglamentación, dichas sustancias.

Con la información anterior y la georeferencia, se podrán elaborar, en una primera etapa, mapas donde se ubiquen e identifiquen los peligros existentes en cada municipio para una adecuada prevención, planeación, preparación y atención de accidentes en caso de que llegaran a presentarse. Sin embargo, para identificar con mayor precisión los peligros es necesario establecer los mecanismos para obtener la información necesaria, lo cual permitirá finalmente, determinar y cuantificar los riesgos.

Adicionalmente, en la presente metodología se han incluido referencias bibliográficas y direcciones en internet, con el fin de que cada institución interesada en el tema incremente su conocimiento y habilidad en la identificación de los peligros y riesgos químicos. Por último, la Subdirección de Riesgos Químicos del CENAPRED puede brindar orientación sobre las técnicas necesarias para la identificación de peligros y evaluación de riesgos a las instituciones o dependencias interesadas.

APÉNDICE 1 A

LISTA DE SUSTANCIAS		
Número de Referencia	**Tipo de sustancia**	**Sustancia (ejemplo)**
1-3	**Líquido inflamable, presión de vapor < 0.3 bar a 20°C, (punto de inflamación ≤ 20°C)**	Acetal
		Acetaldehído
		Acetato de etilo
		Acetato de isobutilo
		Acetato de metilo
		Acetato de propilo
		Acetato de vinilo
		Acetona
		Acetonitrilo
		Acrilato de etilo
		Benceno
		Butanediona
		Butanol
		Butanona
		Butil formato
		Ciclohexano
		Cloruro de bencilo
		Cloruro de butilo
		Dicloroetano
		Dicloropropano
		Dietil cetona
		Dietilamina
		Dimetil carbonato
		Dimetilciclohexano
		Dioxano
		Etanol
		Eter isopropilico
		Etil formato
		Etilbenceno
		Heptano
		Hexano
		Metanol
		Metil isobutil cetona
		Metil metacrilato
		Metil propionato
		Metil vinil cetona
		Metilciclohexano
		Octano
		Piperidina
		Piridina
		Tolueno
		Trietilamina

LISTA DE SUSTANCIAS		
Número de Referencia	**Tipo de sustancia**	**Sustancia (ejemplo)**
1-3	**Líquidos inflamables con presión de vapor < 0.3 bar a 20°C, (punto de inflamación > 20°C)**	Acetato de etilglicol
		Alcohol arílico
		Alcohol isoamílico
		Anilina
		Benzaldehído
		Butanol
		Cloruro de bencilo
		Combustóleo (fuel oil)
		Diclorobenceno
		Dicloropropano
		Diesel
		Dietil carbonato
		Diglicol butil
		Dimetilformamida
		Estireno
		Etanolamina
		Etil formato
		Etilenclorohidrina
		Etilenglicol
		Fenol
		Furfural
		Furil carbinol
		Isobutanol
		Isopropanol
		Metil butil cetona
		Metil glicol
		Metil glicol acetato
		Naftaleno
		Nitrobenceno
		Petróleo
		Silicato de etilo
		Trioxano
		Xileno

LISTA DE SUSTANCIAS		
Número de Referencia	**Tipo de sustancia**	**Sustancia (ejemplo)**
4-6	**Líquido inflamable, presión de vapor ≥ 0.3 bar a 20°C**	Alcohol isopropílico
		Bromuro de etilo
		Ciclopentano
		Dietil éter
		Disulfuro de carbono
		Gas natural condensado
		Gasolina
		Isopropeno
		Metil formato
		Nafta
		Oxido de propileno
		Pentano
		Propanol
		Solución de colodión
7-9	**Gas inflamable licuado a presión**	1,3 butadieno
		Butano
		Buteno
		Ciclobutano
		Ciclopropano
		Cloruro de etilo
		Cloruro de vinilo
		Difluoroetano
		Dimetil éter
		Etano
		Floruro de etilo
		Floruro de vinilo
		Gas L.P
		Isobutano
		Isobutileno
		Metil éter
		Metil fluoruro
		Monóxido de carbono
		Óxido de etileno
		Propadieno
		Propano
		Propileno
		Vinil metil éter
10, 11	**Gas inflamable licuado por Congelación**	Eteno
		Gas natural
		Metano
		Metil acetileno
12	**Gas inflamable bajo presión**	Etileno
		Gas natural
		Hidrógeno
		Metano
		Metil acetileno

LISTA DE SUSTANCIAS		
Número de Referencia	**Tipo de sustancia**	**Sustancia (ejemplo)**
13	**Gas inflamable en cilindros**	Acetileno
		Butano
		Gas L.P
		Hidrógeno
		Propano
14, 15	**Explosivos**	Nitrato de amonio
		Nitroglicerina
		Peróxidos orgánicos (tipo B)
		Trinitrotolueno
16, 17	**Líquidos de baja toxicidad**	Alilamina
		Bromuro de alilo
		Cloruro de acetilo
		Cloruro de alilo
		Cloruro de fenil carbilamina
		Cloropicrina
		Diclorodietil eter
		Dimetilhidrazina
		Dimetilsulfato
		Dimetilsulfuro
		Epiclorohidrina
		Etanotiol
		Etil isocianato
		Etiltriclorosilano
		Pentacarbonil hierro
		Isopropilamina
		Metacroleina
		Metil hidracina
		Tetróxido de osmio
		Perclorometilmercaptano
		Perclorometiltiol
		Oxicloruro de fósforo
		Tricloruro de fósforo
		Cloruro de sulfurilo
		Tetraetilo de plomo
		Tetrametilo de plomo
		Triclorosilano
		Cloruro de vinilideno

LISTA DE SUSTANCIAS		
Número de Referencia	**Tipo de sustancia**	**Sustancia (ejemplo)**
18-21	**Líquidos de mediana toxicidad**	Ácido hidrofluórico
		Ácido nítrico fumante
		Ácido sulfúrico fumante
		Acrilonitrilo
		Acroleína
		Bromo
		Cianuro de bromo
		Cloroacetaldehído
		Clorometiléter
		Dimetildiclorosilano
		Etilcloroformato
		Etilenimina
		Isobutilamina
		Metilcloroformato
		Metildiclorosilano
		Metiltriclorosilano
		Óxido de propileno
		Propilenimina
		Soluciones de formaldehído
		Sulfuro de carbono
		Tetracloruro de estaño
		Yoduro de metilo
22, 25	**Líquidos altamente tóxicos**	Cianuro de hidrógeno
		Dióxido de nitrógeno
		Tetrabutil amina
		Trióxido de azufre
26, 29	**Líquidos muy altamente tóxicos**	Carbonil níquel
		Metil isocianato
		Pentaborano
		Pentafluoruro de azufre
30, 35	**Gases de baja toxicidad**	Cloruro de vinilo
		Etilamina
		Óxido de etileno
31, 36, 40	**Gases de mediana toxicidad**	Ácido fluorhídrico
		Amoniaco
		Bromuro de vinilo
		Dimetilamina
		Dióxido de azufre
		Flúor
		Fluoruro de perclorilo
		Metilbiomide
		Monóxido de carbono
		Silano
		Tetrafluoruro de silicón
		Trifluoruro de cloro
		Trifluoruro de nitrógeno
		Trimetilamina
		Trifuoruro de boro

LISTA DE SUSTANCIAS		
Número de Referencia	**Tipo de sustancia**	**Sustancia (ejemplo)**
32, 37, 41, 42	**Gases altamente tóxicos**	Ácido bromhídrico
		Ácido clorhídrico
		Ácido sulfhídrico
		Cloro
		Cloruro de metilo
		Dicloroacetileno
		Dióxido de cloro
		Fluoruro de sulfurilo
		Formaldehído
		Germanio
		Hexafluoroacetona
		Monóxido de nitrógeno
		Sulfuro de carbonilo
		Tetrahidruro de estaño
		Tetróxido de dinitrógeno
		Tricloruro de boro
33, 38	**Gases muy altamente tóxicos**	Ácido selenhídrico
		Boroetano
		Ceteno
		Cianógeno
		Cloruro de carbonilo
		Cloruro de nitrosilo
		Difluoruro de oxígeno
		Estibina
		Flúor
		Fluoruro de carbonilo
		Fosfina
		Fosgeno
		Hexafloruro de telurio
		Tetrafloruro de azufre
34, 39	**Gases extremadamente tóxicos**	Ácido selenhídrico
		Arsina
		Hexafluoruro de selenio
		Ozono

Fuente: IAEA, Manual for the classification and priorization of risks due to major accidents in process and related industries., IAEA-TECDOC-727, 1996

APÉNDICE 1 B
FUNDAMENTOS LEGALES QUE POSIBILITAN EL SOLICITAR INFORMACIÓN AL OPERADOR O PROPIETARIO DE UN DUCTO QUE CONDUCE MATERIALES PELIGROSOS

El artículo 16 de la Ley General de Protección Civil establece como atribución del Consejo Nacional de Protección Civil:

Fungir como órgano de consulta y de coordinación de acciones del Gobierno Federal para convocar, concertar, inducir e integrar las actividades de los diversos participantes e interesados en la materia, a fin de garantizar la consecución del objetivo del Sistema Nacional de Protección Civil.

El artículo 17 de la misma Ley establece que el Consejo Nacional estará integrado por el Presidente de la República, quien lo presidirá y por los titulares de las Secretarías de Gobernación, Relaciones Exteriores; Defensa Nacional; Marina; Hacienda y Crédito Público; Desarrollo Social; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural; Comunicaciones y Transportes; Contraloría y Desarrollo Administrativo; Educación Pública; Salud; por los Gobernadores de los estados y el Jefe de Gobierno del Distrito Federal.

La participación de las anteriores Secretarías puede permitir un acuerdo para compartir información relativa al análisis de riesgos de los ductos que transportan materiales peligrosos, encaminadas a la protección civil; así por ejemplo sería posible el acceder a información sobre análisis de riesgo, trayectorias y especificaciones solicitada por la Secretaría de Energía en la normas oficiales mexicanas NOM-003-SECRE-2002 *Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo* y NOM-007-SECRE-1999 *Transporte de gas natural*, útiles para elaborar mapas de peligro y riesgo. Lo anterior en concordancia con lo indicado en el artículo 39 de la Ley General de Protección Civil donde se establece que las unidades estatales o municipales de Protección Civil, así como las del Distrito Federal, podrán aplicar, entre otras, como medida de seguridad la identificación y delimitación de lugares o zonas de riesgo.

La norma oficial mexicana NOM-007-SECRE-1999 no hace referencia a estudios de riesgo; sin embargo, para la instalación y operación de ductos de transporte de gas natural el artículo 28(I) de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* requiere una evaluación de impacto ambiental a oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos. Asimismo, los artículos 145, 146 y 147 indican y definen qué actividades requieren elaborar un estudio de riesgo y un Programa de Prevención de Accidentes. Para el caso del transporte de gas natural, gas LP y otros hidrocarburos son requeridos los estudios anteriores, por lo cual las autoridades de Protección Civil podrían solicitar dichos estudios a los operadores o en su caso a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales con la intención de elaborar mapas de peligros y de riesgos.

La NOM-003-SECRE-2002 solicita en el numeral 13.2.1 (a) un análisis de riesgo de las instalaciones. Adicionalmente, la NOM-007-SECRE-1999 en el numeral 12.3.1 (d) indica que se debe proporcionar a la autoridad local información actualizada de las tuberías e instalaciones existentes en su territorio, marcando el área para su fácil identificación.

APÉNDICE 1 C
DISTANCIAS DE SEGURIDAD PARA TUBERÍAS EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES PELIGROSOS

Las autoridades y la industria petrolera han buscado determinar una distancia que permita una adecuada protección de las propiedades y personas cercanas a tuberías de transporte de materiales peligrosos.

Es razonable que un incremento en la distancia de separación entre las tuberías y otras construcciones deba reducir la posibilidad de daños a las tuberías y el riesgo de un incidente. Sin embargo, establecer una distancia segura para el alineamiento de construcciones con respecto a los ductos es complicado y se dificulta especialmente cuando se trata de materiales con alta volatilidad o en estado gaseoso, ya que el área de afectación en caso de un accidente depende de diámetro de la tubería, el tamaño del orificio de fuga, de la presión a la cual es transportado el material, del material transportado, de la profundidad de la cubierta (para tuberías enterradas), de las condiciones meteorológicas y de las características topográficas. El supuesto anterior presenta dos puntos a considerar, el primero consiste en establecer cuál es la distancia adecuada, y el segundo es determinar si el costo que representa la restricción del área urbanizable (utilizable para uso habitacional, industrial o comercial) ofrece un beneficio significativo con respecto a la prevención, y a la reducción en la ocurrencia y consecuencias de accidentes en tuberías. Para la solución de este dilema se han tomado dos alternativas, la primera es el establecer una distancia fija y la otra es el de una distancia dependiente de un análisis de riesgos.

La norma elaborada por el *Comité Inter-organismos de Ductos de Petróleos Mexicanos, CID-NOR-N-SI-0001 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de ductos de transporte* representa la primera alternativa, en ella se establece que ninguna tubería podrá ser localizada a una distancia de 15 metros (50 pies) de cualquier casa habitación privada, edificio industrial o lugar de asamblea pública a menos que se considere como mínimo una cubierta adicional de 30.48 cm (12 pulgadas), además especifica en la misma norma, dónde se indica el espesor mínimo de cubierta de acuerdo a la clasificación de la localización. Asimismo, el *Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994* proponía diferentes distancias mínimas de separación entre las cuales se establecía una distancia mínima de separación de 50 metros de la tubería con respecto a usos habitacionales.

Dentro de los estudios relacionados con la determinación de una separación adecuada se encuentra el realizado por el *Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)*, en 1987 como respuesta a una propuesta federal que pretendía prohibir la instalación de ductos nuevos dentro de una distancia de 45 metros (150 pies) a cualquier asentamiento, para lo cual el Instituto analizó los registros de accidentes, concluyendo que el 66.6% de las muertes y el 74% de los lesionados debidos a accidentes en tuberías se ubicaban dentro de una distancia de 45 metros; estos resultados pueden fundamentar la propuesta de ubicar a una distancia mínima de 45 metros cualquier asentamiento para lograr un adecuado margen de seguridad, sin embargo, esto implicaría una reducción del área urbanizable y un incremento en los costos de esta medida.

El estándar inglés BS8010 aplicable a cualquier gas tóxico inflamable a temperatura y presión atmosférica representa la segunda alternativa, en ella se especifican los requerimientos iniciales para el distanciamiento mínimo a edificaciones, así como factores de diseño, dependiendo de la densidad de población del área donde se pretende ubicar un ducto, este distanciamiento puede modificarse de acuerdo con los resultados obtenidos de un análisis de riesgo. El estándar holandés NEN 3650 también representa esta alternativa, en ella la evaluación de riesgos es explícita al

ofrecer un distanciamiento mínimo entre ductos y construcciones, para un nivel de riesgo individual establecido (10^{-6}/año), además de aplicar criterios de riesgo social.

C.1 Definición de clase de localización

La norma *CID-NOR-N-SI-0001 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de ductos de transporte* con fecha del 14 de agosto de 1998, establece una clasificación de localizaciones, la cual emplea como criterio para determinar las clases de localización por donde pase un ducto de transporte de hidrocarburos lo siguiente:

6.2.2.17 Clasificaciones de localizaciones

6.2.2.17.1 El criterio para determinar las clases de localización por donde pase un ducto de transporte de hidrocarburos gaseosos será la siguiente: la unidad para la clasificación de la localización será un área unitaria de 400 x 1600 metros (0.25 x 1 milla), considerando 200 metros en ambos lados del eje del ducto, en un tramo de 1600 metros, exceptuando lo indicado en 6.2.2.17.7, la clase de localización se determinará por el número de construcciones que se encuentren por área unitaria. Para propósito de esta norma, cada casa o sección de una construcción, destinada para fines de ocupación humana o habitacionales, se contará como una construcción por separado.

6.2.2.17.2 Para ductos cuya longitud sea menor de 1600 metros (1 milla), la localización será asignada de acuerdo a la clase que corresponda a un ducto de 1600 m (1 milla) de longitud a través de la misma área.

6.2.2.17.3 Localización clase 1. Es la que tiene 10 o menos construcciones para ocupación humana en un área unitaria; o en los casos en donde la tubería se localice en terrenos despoblados, desiertos, de pastoreo, granjas.

6.2.2.17.4 Localización clase 2. Es la que tiene más de 10 pero menos de 46 construcciones para ocupación humana en área unitaria de terreno. Comprende áreas en la periferia de las ciudades, áreas industriales, ranchos.

6.2.2.17.5 Localización clase 3. Es aquella área en donde se cumpla una de las siguientes condiciones:

a) Cuando en un área unitaria existan 46 o más construcciones destinadas a ocupación humana o habitacional.

b) Cuando exista una o más construcciones a menos de 100 metros del eje del ducto y se encuentre ocupada normalmente por 20 o más personas.

c) Cuando exista un área al aire libre bien definida a menos de 100 metros del eje del ducto y ésta sea ocupada por 20 o más personas durante su uso normal, como sería un campo deportivo, un parque de juegos, un teatro al aire libre u otro lugar público de reunión.

d) Cuando el ducto pase a 100 metros o menos de áreas destinadas a fraccionamientos o casas comerciales, aun cuando en el momento de construirse el ducto solamente existan edificaciones en la décima parte de los lotes adyacentes al trazo.

e) Cuando el ducto se localice en sitios donde a 100 metros o menos haya un tránsito intenso u otras instalaciones subterráneas. Considerándose como tránsito intenso un camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo.

6.2.2.17.6 Localización clase 4. Es aquella área unitaria donde prevalecen edificios de 4 o más niveles donde el tráfico sea pesado, o denso, considerando como tráfico intenso en un camino o carretera pavimentada un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo; o bien, existan numerosas instalaciones subterráneas.

6.2.2.17.7 Cuando exista un agrupamiento o conjunto de construcciones destinadas a fines de ocupación humana o unidades habitacionales, que por su número pertenezca a una clase de localización definida de acuerdo con los párrafos 6.2.2.17.1 al 6.2.2.17.6, los límites de localizaciones podrán ampliarse de la manera siguiente:

a) Una localización clase 4, 3 y 2, se ampliará hasta 200 metros, siguiendo el eje de la tubería y contados a partir de los límites del área unitaria.

b) Las localizaciones clases 1, 2 y 3 en que se encuentre una construcción donde haya gran concentración de personas, como sucede en escuelas, hospitales, iglesias, salas de espectáculos, cuarteles, etc., se debe considerar la clase siguiente, en orden ascendente, y ampliarse hasta 200 metros en ambos sentidos del ducto contados a partir de los límites del área unitaria.

c) Debe tomarse un margen de 200 metros en ambas direcciones del ducto al determinar los límites de un área clasificada, excepto cuando existan barreras físicas o factores de otra índole que limiten la expansión futura de las áreas pobladas, en cuyo caso los márgenes del área clasificada debe ampliarse y quedará delimitada por dichas barreras, sin exceder la distancia marcada.

Lo anterior coincide con lo establecido en el estándar *ASME B.31.8 Gas Transmission and Distributión Systems (ASME B.31.8 Sistemas de transmisión y distribución de gas)* y con el *Código de Regulaciones Federales 49 parte 172.5 (49 CFR 172.5)* de los Estados Unidos.

Para tuberías de transporte de gas natural, gas LP, hidrógeno y otros gases en el Registro Federal de los Estados Unidos (Federal Register Vol.68 No. 18 enero 28, 2003/ Proposed Rule) se establecen cuatro características significativas de las rupturas de tuberías y sobre explosiones que son relevantes para la definición para áreas de altas consecuencias (en inglés, high consecuense areas HCA) estas son:

1. Los efectos de rupturas de tuberías de gas y la subsiguiente explosión están muy localizadas. Las propiedades físicas del gas natural establecen que habrá una elevación cuando el gas se expande en el aire.

2. La zona de daño o zona afectada por el calor debido a una ruptura en la tubería está relacionada con el diámetro de la tubería y la presión a la cual es operada.

3. El tamaño de la zona afectada por el calor debido a la ruptura de una tubería en donde la tubería tiene un diámetro menor a 36 pulgadas y la presión de operación es igual o menor a 1000 psig (pounds per square inch gauge, libras sobre pulgada cuadrada manométricas) se limita a un diámetro de 660 pies.

4. El tamaño de la zona afectada por el calor debido a la ruptura de una tubería en donde la tubería tiene un diámetro igual o mayor a 36 pulgadas y la presión de operación es mayor a 1000 psig puede extenderse a 1000 pies.

El *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)* define los siguientes conceptos:

Área geográfica básica urbana: área geográfica que se encuentra dentro de una localidad urbana (incluyendo todas las cabeceras municipales mayores o menores a 2500 habitantes) integrada por un conjunto de manzanas edificadas y delimitadas por calles y avenidas, cuyo uso de suelo no es forestal ni agropecuario y, que partiendo de un punto, presenta continuidad física en todas direcciones o, en su caso sea interrumpida en forma notoria por terreno de uso no urbano.

Área geográfica básica rural: área geográfica que contiene un conjunto de localidades rurales en una población menor a 2500 habitantes cada una, asentadas en un terreno de uso generalmente agropecuario o forestal, de aproximadamente 8000 hectáreas.

Sin embargo, las anteriores definiciones no contemplan la densidad de población para la determinación de las diferentes áreas, la *Oficina de Censos de los Estados Unidos (Census Bureau)* considera para la definición de las diferentes áreas, entre otros aspectos, lo siguiente: para áreas urbanizadas una densidad poblacional mayor o igual a 1000 habitantes por milla cuadrada (386 habitantes por kilómetro cuadrado); para áreas suburbanas una densidad poblacional de 500 a 1000 habitantes por milla cuadrada (193 a 386 habitantes por kilómetro cuadrado); y para áreas rurales una densidad poblacional menor a 100 habitantes por milla cuadrada (38 habitantes por kilómetro cuadrado).

La definición de *áreas de altas consecuencias* establecida por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (Department of Transportation, DOT) incluye lo siguiente (Federal Register Vol.68 No. 18 enero 28, 2003/ Proposed Rule; correspondiente al 49 CFR parte 192.761):

a) Clase de localización 3

b) Clase de localización 4

c) Área con extensión de 300 pies (91.44 m) contada a partir del centro de la tubería a un sitio identificado, para una tubería no mayor de 12 pulgadas (30.48 cm)de diámetro y una presión máxima de operación menor a 1200 psig (84.36 Kg/cm^2)

d) Área con extensión de 1000 pies (304.8 m)) contada a partir del centro de la tubería a un sitio identificado, para una tubería mayor a 30 pulgadas (76.2 cm) de diámetro y una presión máxima de operación mayor a 1000 psig (70.3 Kg/cm^2)

e) Área con extensión de 660 pies (201.17 m) contada a partir del centro de la tubería a un sitio identificado, para todas las tuberías no contempladas anteriormente.

Un sitio identificado se define como una construcción o un área exterior que puede ser identificado por uno o varios medios y que aloja personas quienes son difíciles de evacuar o que tienen algún impedimento para movilizarse (por ejemplo hospital, iglesias, escuela, prisiones, instalaciones de cuidado); o donde haya evidencia de que 20 o más personas se reúnen al menos 50 días en un año (ejemplo. playas, campamentos, instalaciones religiosas).

C.2 Procedimiento para determinar zonas de impacto para tuberías que transportan gases en áreas de altas consecuencias

Las siguientes condiciones aplican a tuberías de transmisión de gas, que transportan propano, propileno, butanos, butilenos, mezclas de gases con presión de vapor igual o menor a 208 psig (14.62 kg/cm^2)a 100°F (38°C), hidrógeno y otros productos (49 CFR 192.3).

Para determinar la zona de impacto en áreas de altas consecuencias se realiza el siguiente proceso:

- Identificar todas las áreas de altas consecuencias debido a las tuberías considerando la definición para áreas de altas consecuencias.
- Calcular el radio de impacto potencial para cada segmento de la tubería (ducto).
- Determinar el radio umbral (threshold radius) asociado al radio de impacto potencial para cada segmento
- Identificar los círculos de impacto potencial para la tubería (ducto).
- Identificar las zonas de impacto potencial para la tubería (ducto) en las clases de localización 3 y 4, identificar las áreas de riesgo moderado.
- Determinar la prioridad de cada segmento; los segmentos localizados dentro de una zona de impacto potencial se consideran de muy alta prioridad, las áreas localizadas fuera de la zona de impacto potencial se consideran de baja prioridad.

Para la aplicación de lo anterior se definen los siguientes términos (49 CFR 192.761):

Círculo de impacto potencial: es un círculo de radio igual al radio umbral usado para establecer las áreas de alta prioridad dentro del área de alta consecuencia. Un círculo de impacto potencial contiene alguna de las siguientes características:

1. 20 o más edificaciones destinadas a ocupación humana dentro de un círculo con radio de 1,000 pies (304.8 m), o mayor si el radio umbral es mayor a 1,000 pies
2. Una instalación donde se alojan personas las cuales son difíciles de evacuar, o
3. Un lugar donde las personas se reúnen.

Radio de impacto potencial: es el radio de un círculo dentro del cual una posible falla en una tubería puede tener un impacto significativo sobre personas o propiedades. El radio de impacto potencial se determina por la fórmula (Federal Register Vol. 68 No. 18 enero 28, 2003/ Proposed Rule; correspondiente al 49 CFR parte 192.761):

$r = 0.69*(\text{raíz cuadrada de } (p*d^2))$

donde:
r: es el radio del área circular que rodea al punto de la falla, en pies
p: es la presión máxima de operación permitida en el segmento de la tubería, en psig
d: diámetro de la tubería, en pulgadas

El valor de 0.69 es un factor para gas natural, este número puede variar para otros gases dependiendo del calor de combustión. Para otros gases revisar la sección 3.2 del estándar *ASME/ANSI B31.8s Managing System Integrity of Gas Pipelines (ASME/ANSI B31.8s Sistema de administración de la integridad de tuberías de gas)* para establecer la fórmula del radio de impacto. Dicho estándar fue elaborado por la American Society of Mechanical Engineers (ASME, en español Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y la American National Standards Institute (ANSI, en español Instituto Nacional Americano de Estándares).

Zona de impacto potencial: es un área rectangular a lo largo de la tubería derivada del círculo de impacto potencial. La zona de impacto potencial se extiende axialmente a lo largo de la longitud de la tubería del centro del círculo del primer impacto potencial al centro del último círculo de impacto potencial contiguo, y se extiende perpendicularmente a la tubería al radio umbral a ambos lados de la línea central de la tubería.

Radio umbral: es un radio para señalar los límites destinados para proporcionar un margen adicional de seguridad más allá de la distancia calculada para el radio de impacto potencial. Si el radio de impacto potencial calculado es menor a 300 pies (91.44 m), el operador del ducto deberá utilizar un umbral de 300 pies. Si el radio de impacto potencial calculado excede los 300 pies pero este es inferior a 660 pies (201.17 m), el umbral que deberá utilizarse es de 660 pies. Si el radio de impacto potencial calculado excede los 660 pies pero este es inferior a 1000 pies (304.8 m), el umbral que deberá utilizarse es de 1000 pies. Cuando el radio de impacto potencial excede 1000 pies, el umbral es 15% mayor que el radio de impacto actual calculado.

C.3 Ubicación de nuevos ductos

Otro medio para reducir conflictos potenciales con respecto al uso de suelo se basa en la planeación para la selección de la localización de nuevos ductos. En este caso, la planeación en el uso del suelo de las áreas donde se ubiquen las tuberías y la creación del derecho de vía, debe considerarse de tal manera que se evite en lo posible su proximidad a áreas pobladas, así como el anticipar los usos futuros de las áreas y de las áreas próximas seleccionadas para alojar el derecho de vía, de tal manera que se eviten futuros conflictos entre ambas. Además, deben considerarse: las afectaciones que causará el derecho de vía, la posición de cada elemento que interfiera en la construcción del derecho de vía como son vías de ferrocarril, carreteras, caminos y canales, el tipo de terreno, la vegetación, etcétera.

En México, las autoridades federales regulan la ubicación de nuevos ductos basándose en la aplicación del procedimiento de manifestación de impacto ambiental, el estudio de riesgo debido a que se trata de una actividad altamente riesgosa, el cumplimiento de normas oficiales mexicanas, de otras normas y estándares considerados, de la autorización por parte de la Secretaría de Energía; así como, el cumplimiento de leyes, reglamentos y otras disposiciones de carácter estatal, municipal y local relacionadas con el uso del suelo y desarrollo urbano.

APÉNDICE 1 D

PROGRAMAS DE CÓMPUTO EMPLEADOS POR PETRÓLEOS MEXICANOS PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO

Existen dos programas de cómputo utilizados por las subsidiarias de Petróleos Mexicanos para la evaluación de riesgo los cuales son programas comerciales muy especializados, el primero *Integrity Assessment Program (IAP, Programa para la evaluación de la integridad)* empleado por PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB) y PEMEX Refinación, y el segundo llamado *Pipeline Risk Analysis for Maintenance and Inspection Decisions (PIRAMID, Análisis de riesgos en tuberías para decisiones sobre inspección y mantenimiento)* empleado por PEMEX Exploración y Producción (PEP).

El programa IAP es utilizado para obtener índices de riesgo, que a su vez se emplean para desarrollar programas de mantenimiento y para la planeación, asignación y distribución de recursos. Este programa maneja más de 200 variables para obtener 7 factores de riesgo: corrosión interior (IC); corrosión exterior (EC); diseño y materiales (DM); movimiento del suelo (GM); terceras partes (TP); operación del sistema (SO); y fractura por esfuerzo de corrosión (OT). Con los factores de riesgo se determinan los valores de probabilidad de falla (LOF) y consecuencias de falla (COF); índices de impacto a la población (IAP), en el medio ambiente (IOE) y en el negocio (IOB) y finalmente el riesgo de falla (ROF). Los valores calculados se comparan para determinar tres bandas de riesgo: tolerable, administrable y no tolerable. La probabilidad de falla (LOF) se expresa como número de eventos por año/10 000 kilómetros; en cuanto a las consecuencias de falla (COF) se establece por la suma del impacto al negocio, al ambiente y a la población, estas últimas variables son a su vez la suma de diferentes subcategorías establecidas como muertes, lesiones, pérdida de producto, daños a propiedad, reparaciones, tarifa de costos y paros.

Asimismo, con la información disponible en el *Sistema de Identificación de Activos (SIIA)* se puede obtener en detalle las áreas de afectación debidas a un evento como es una explosión de material fugado.

PIRAMID es un programa de cómputo que realiza un análisis cuantitativo del riesgo, establece perfiles de riesgo para ductos, pudiéndose establecer una jerarquía de los segmentos de un ducto de acuerdo con niveles de riesgo, identificando segmentos de altas consecuencias. Este programa calcula la probabilidad de falla y las consecuencias de la falla para cada peligro (o causa de fallo), combinando los resultados y calculando el nivel de riesgo para cada segmento del ducto. Para calcular la probabilidad de fallo considera diversas causas de fallo, entre las que se incluyen: impacto con equipo de excavación, corrosión interna, corrosión externa, peligros geotécnicos, sísmicos, etcétera. PIRAMID utiliza los costos de una falla para establecer las consecuencias financieras (económico), ambiental y sobre seguridad en el caso de riesgo a la población, considerando este último como riesgo individual.

APÉNDICE 1 E

PROGRAMAS DE CÓMPUTO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO EN EL TRANSPORTE TERRESTRE

El planteamiento de metodologías y modelos para la evaluación del riesgo en el transporte es un proceso que es llevado a cabo por múltiples investigadores, autoridades e instituciones, este proceso se ha ido completando de acuerdo con los problemas presentados, información disponible y resultados obtenidos, de esta manera existen diferentes metodologías y modelos que pretenden no sólo evaluar el riesgo a personas sino también evaluar costos, seleccionar rutas, etcétera, y que de manera general comparten principios comunes. El propósito de las técnicas o metodologías para la evaluación cuantitativa del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos es la estimación del riesgo en una trayectoria o ruta, para lo cual existen diferentes procedimientos, mismos que pueden simplificarse mediante la aceptación de diferentes consideraciones particulares.

En la cuantificación del riesgo debido al transporte de materiales y residuos peligrosos se determina numéricamente el riesgo al que las personas estarán expuestas; estas determinaciones es posible utilizarlas para elaborar estrategias tendientes a: minimizar riesgos y disminuir gastos relativos a la restauración por impactos al ambiente, reparación de daños a estructuras y equipos, o los debidos a la afectación a personas.

En el desarrollo de la evaluación del riesgo en el transporte se consideran diversos componentes que se integran en las diferentes metodologías o técnicas establecidas con este propósito, estos componentes son:

- Definición de los segmentos de la ruta
- Distribución de la población
- Probabilidad del accidente
- Modelos de simulación y determinación de consecuencias
- Modelos para determinar la exposición
- Cálculo de riesgo

Para cada segmento se deben realizar los cálculos de cada accidente, severidad del accidente y densidad de población de la zona. Las probabilidades de accidentes y la densidad de población pueden variar para cada segmento de la ruta por lo cual se deben determinar de manera individual. Los valores de las consecuencias se multiplican por la probabilidad de ocurrencia; la suma de los riesgos para cada segmento resulta en el riesgo total debido al accidente. Los riesgos asociados a cada resultado de incidente se calculan separadamente y se suman posteriormente.

Existen diferentes programas de computo comerciales que integran los componentes anotados anteriormente, entre estos se encuentran: RISKCHEM desarrollado por la Universidad de Illinois y Argonne National Laboratory de los Estados Unidos de América, Transport RISKAT desarrollado por Health and Safety Executive de Inglaterra, y RADTRAN desarrollado por Sandia National Laboratories en los Estados Unidos de América, este último para el transporte de materiales radiactivos; los modelos anteriores poseen diferencias en la manera de evaluar el riesgo, y en algunos casos en la manera de expresarlo.

GLOSARIO

Accidente de Alto Riesgo Ambiental: Una explosión, incendio, fuga o derrame súbito que resulte de un proceso en el curso de las actividades de cualquier establecimiento, así como en tuberías, en los que intervengan uno o varios materiales o sustancias peligrosas y que supongan un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas.

Accidente: Es cualquier evento no deseado que causa un daño material o humano. De acuerdo al campo de aplicación existen diferentes criterios por ejemplo, en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos se considera accidente, cuando no existe liberación de la sustancia transportada, y cuando se presenta una liberación se considera como incidente.

Análisis de riesgos: Es el desarrollo de una estimación cuantitativa del riesgo, basado en técnicas matemáticas que combinan la estimación de las consecuencias de un incidente y sus frecuencias. También puede definirse como la identificación y evaluación sistemática de objetos de riesgo y peligro.

Área de afectación: Representa el área geográfica estimada que puede ser potencialmente afectada por la liberación de una sustancia peligrosa en niveles que pueden causar daños agudos a la salud o la muerte de las poblaciones humanas por efectos de una liberación accidental.

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion): Explosión debida a la expansión de un líquido en ebullición dentro de un tanque o recipiente cerrado; este evento ocurre debido a la liberación súbita de una gran masa de líquido presurizado a la atmósfera. Una causa primaria es el contacto directo de una flama externa con la superficie del recipiente por encima de la nivel del líquido, lo cual ocasiona un debilitamiento del recipiente en este lugar y su posterior ruptura.

Condiciones meteorológicas: Condiciones de la atmósfera en el momento de un accidente. Se incluyen: velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad, nubosidad y radiación solar.

Consecuencia: Una medida de los efectos esperados que resultan de un incidente.

Derrame: Es el escape de cualquier sustancia líquida, sólida o la mezcla de ambas, de cualquier recipiente o conducto que la contenga como son: tuberías, equipos, tanques de almacenamiento, autotanques, carrotanques, etcétera.

Desastre: Estado en que la población de una o más entidades, sufre daños severos por el impacto de una calamidad devastadora, sea de origen natural o antropogénico, enfrentando la pérdida de sus miembros, infraestructura o entorno, de tal manera que la estructura social se desajusta y se impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad, afectando el funcionamiento de los sistemas de subsistencia.

Desbaste: Se entiende como el desgaste o disminución del material de un objeto

Estabilidad atmosférica: Es una medida de la habilidad de la atmósfera para dispersar las sustancias químicas. Una atmósfera estable mantiene la fuga como un paquete de aire sin movimiento y una inestable dispersa el paquete. De acuerdo con la clasificación de Pasquill-Guifford-Turner, que es comúnmente usada, se definen seis clases de atmósfera, desde la muy inestable A, a la muy estable F, se basa en factores como son velocidad del viento, insolación, nubosidad, temperatura y humedad.

Explosión: Es la liberación de una cantidad considerable de energía en un lapso de tiempo muy corto (pocos segundos), debido a un impacto fuerte o por la reacción química de ciertas sustancias. También puede definirse como la liberación de energía que causa una discontinuidad en la presión u onda de choque.

Fuente fija: Instalación industrial, establecimiento comercial o de servicio que maneja o almacena sustancias y materiales peligrosos, y que se encuentra ubicada en un lugar fijo.

Fuente móvil: Unidad de transporte terrestre, aéreo o marítimo (avión, barco, autotanque, etc.) que se emplea para el traslado de sustancias y materiales peligrosos.

Fuga: Es la pérdida de material que se presenta al existir un cambio de presión debido a rupturas en el recipiente que lo contiene o lo conduce.

Incidente: Evento no deseado que podría causar algún daño, como resultado de la pérdida de contención de material o energía.

Material peligroso: De acuerdo al Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos son aquellas substancias peligrosas, sus remanentes, sus envases, embalajes y demás componentes que conforman la carga que será transportada por las unidades.

Peligro: Condición física o química que tiene el potencial de causar daño a las personas, propiedades o al ambiente.

Pool Fire (Charco de fuego): La combustión del material que se evapora en la superficie de un líquido que fue derramado.

Probabilidad: Expresión de la posibilidad de ocurrencia de un evento o un evento subsiguiente durante un intervalo de tiempo. Por definición la probabilidad debe expresarse como un número entre 0 y 1.

Proceso: Conjunto de actividades físicas o químicas relativas a la producción, obtención, acondicionamiento, envasado, manejo y embalaje de productos intermedios o finales.

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Residuos Peligrosos: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Riesgo: Es una medida de pérdida económica o de daño a personas en términos de la posibilidad de que suceda un incidente y la magnitud de la pérdida o daño. También puede definirse como el producto de la probabilidad de que ocurra un suceso por la magnitud de sus consecuencias $R = P \times C$.

Sustancia peligrosa: De acuerdo al Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos es todo aquel elemento, compuesto o material o mezcla de ellos que independientemente de su estado físico, represente un peligro potencial para la salud, el ambiente,

la seguridad de los usuarios y la propiedad de terceros; también se consideran bajo esta definición los agentes biológicos causantes de enfermedades.

Topografía: Conjunto de particularidades que tiene un terreno en su relieve. Técnica de representación grafica de un lugar sobre el papel, con todos los accidentes de la superficie.

Toxicidad: Capacidad de una sustancia para causar daño a los tejidos vivientes, deterioro del sistema nervioso central, enfermedades severas o muerte por ingestión, inhalación o absorción por la piel.

BIBLIOGRAFÍA

Code of Federal Regulations, 49 CFR Departamento de Transporte de los Estados Unidos de América, 2004. http://www.access.gpo.gov/nara/cfr.

"Federal Register" Vol. 68 Number 18 Tuesday, Proposed Rules. United States of America, January 28, 2003.

Hernández García C., Hernández Ortega J. A., Contreras Cruz J. C. "Distancias de seguridad a ductos de transporte de hidrocarburos" Memorias Técnicas del 7º Congreso y Expo Internacional de Ductos. Puebla, México, 2003.

International Atomic Energy Agency, IAEA. "Manual for the classification and priorization of risks due to major accidents in process and related industries" IAEA-TECDOC-727, 1996.

Petróleos Mexicanos "CID-NOR-N-SI-0001 Requisitos mínimos de seguridad para el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de ductos de transporte" Disponible en la dirección electrónica http://www.pemex.com

Petróleos Mexicanos "NRF-009-PEMEX-2001 Identificación de productos transportados por tuberías o contenidas en tanques de almacenamiento" Disponible en la dirección electrónica http://www.pemex.com

Petróleos Mexicanos "NRF-030-PEMEX-2003 Diseño, construcción, inspección y mantenimiento de ductos terrestres para transporte y recolección de hidrocarburos" Disponible en la dirección electrónica http://www.pemex.com

Petróleos Mexicanos, "Memorias técnicas del 7º. Congreso y Expo Internacional de Ductos" Puebla, México, 2003.

Rivera Balboa R. D. "Medidas para incrementar la seguridad y determinación cuantitativa del riesgo, en el transporte de materiales peligrosos a través de tuberías" RQ/06/99 Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 1999.

Rivera Balboa R. D. "Metodologías para la evaluación del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos" Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 2002.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Departamento de Trasporte de los Estados Unidos y Transporte de Canadá. "Guía de Respuesta en Caso de Emergencias 2000".

Secretaría de Comunicaciones y Transportes "NOM-002-SCT-2003 Listado de sustancias y materiales más usualmente transportados" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes "NOM-004-SCT-2000 Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes "NOM-012-SCT2-1995 Sobre el peso y las dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en

los caminos y puentes de jurisdicción federal" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes "Reglamento sobre peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal" SCT, México, 1997.

Secretaría de Desarrollo Social. "Zonas de riesgo en centros de población" México.

Secretaría de Energía "*NOM-003-SECRE-2002* Distribución de gas natural y gas licuado de petróleo por ductos" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx
.
Secretaría de Energía "NOM-007-SECRE-1999 Transporte de gas natural" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx.

Secretaría de Gobernación "Ley General de Protección Civil" Diario Oficial de la Federación reformado el 12 de mayo del 2000. México.

Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, "Guía técnica para la preparación de mapas de ubicación geográfica de riesgos" México,1994.

Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, "Guía cartográfica para el levantamiento de riesgos a nivel municipal" México, 1994.

Secretaría de Gobernación, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, "Primer listado de actividades altamente riesgosas" Diario Oficial de la Federación, 28 de marzo de 1990.

Secretaría de Gobernación, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, "Segundo listado de actividades altamente riesgosas" Diario Oficial de la Federación, 4 de mayo de 1992.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales "NOM-052-ECOL-1993 Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx

Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" Diario Oficial de la Federación, 28 de enero 1988, actualizada al 13 de junio del 2003.

Secretaría de Trabajo y Previsión Social "NOM-018-STPS-2000 Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx

Secretaría de Trabajo y Previsión Social "NOM-026-STPS-1998 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías" Disponible en la dirección electrónica http://www.economia-noms.gob.mx

II IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

Cecilia Izcapa Treviño, María Esther Arcos Serrano, Liliana Bernabé Espinosa, Rubén Darío Rivera Balboa y Enrique Bravo Medina

2.1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y DEL SUELO

El rápido crecimiento poblacional y los patrones de consumo son factores que han propiciado la sobreexplotación de los recursos naturales y la degradación ambiental que, aunados al desarrollo industrial y económico, han ocasionado que se incremente la contaminación ambiental, por lo que ésta se convierte actualmente en un problema más crítico que en épocas pasadas.

La contaminación es el cambio en las características físicas, químicas o biológicas del ambiente natural, y se considera resultado de la ineficiencia de los procesos de producción desarrollados por el hombre. La extracción de materias primas, la fabricación de productos, la energía necesaria para el proceso de fabricación y el producto mismo poseen ineficiencias esenciales que generan desperdicios (contaminación) que ya no son útiles; estos desperdicios deben desecharse, por lo que al ingresar a la naturaleza presentan cambios en el medio ambiente.

2.1.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua se da cuando se le incorpora materias extrañas, tales como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, y de otros tipos o bien aguas residuales, entre otras; estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

Las principales fuentes de agua son las siguientes:

Aguas Subterráneas

Son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo y rocas; el suelo y las rocas que se han saturado de agua forman ríos subterráneos, los cuales se conocen como depósitos de agua subterránea o acuíferos. El agua se extrae normalmente de estos depósitos por medio de pozos.

Aguas Superficiales

Las aguas superficiales incluyen ríos, lagos, presas y lagunas; han sido fuentes primarias de abastecimiento de agua en virtud de las altas tasas de extracción que soportan normalmente.

Las aguas subterráneas y superficiales son vulnerables a la contaminación, la sobreexplotación, los procesos de salinización y el colapso de sus espacios naturales por hundimientos, entre otros, por lo que es necesario purificarlas a través de plantas de tratamiento.

2.1.1.1 Usos y calidad del agua

En México el uso consuntivo predominante se da en el sector agrícola, 78% de agua se utiliza para riego, público urbano 11.5%, industrial 8.5% y otros usos como el pecuario o el destinado a la acuacultura consumen 2.2%.

Determinar la calidad del agua permite que se clasifique para usos específicos. En México se emplea el Índice de Calidad del Agua (ICA), que agrupa de manera ponderada algunos parámetros del deterioro de la calidad del líquido. El índice toma valores en una escala de 0 a 100%, donde mientras mayor sea el valor mejor es la calidad. El ICA se calcula a partir de una ponderación de 18 parámetros fisicoquímicos, algunos de ellos son: oxígeno disuelto, coliformes fecales, fosfatos, pH, sólidos suspendidos, entre otros. Es importante resaltar que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) los utiliza Comisión Nacional Agua para determinar el grado de contaminación del agua.

2.1.1.2 Contaminación de aguas superficiales

En México la mayoría de los cuerpos de agua superficial reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola o pecuario, lo que ha ocasionado diversos grados de contaminación que limitan el uso directo del agua.

En la tabla 2.1 se presenta una síntesis de un estudio sobre la calidad de las aguas superficiales (CNA, 1999), el cual se basa en la utilización del índice de calidad del agua, a partir del monitoreo de 535 cuerpos receptores.

Tabla 2.1 Calidad de las aguas superficiales Nacionales

Rango de ICA	Calidad del agua	% de cuerpos de agua	Uso
100-85	No contaminado	6	Todo uso
84-70	Aceptable	20	Agua potable con tratamiento convencional
69-50	Poco contaminado	51	Agua potable con tratamiento avanzado
49-30	Contaminado	16	Prácticamente ningún uso directo
29-0	Altamente contaminado	6	Prácticamente ningún uso directo
No aplica	Presencia de tóxicos	1	Prácticamente ningún uso directo

Fuente. CNA, 2003

Las cuencas con mayor grado de contaminación según datos de CNA, 2003, de agua superficial son las de los ríos Tijuana, Colorado, San Pedro, Atoyac, Laguna de Bustillos en el río Bravo, Lerma, Laja, Santiago, Verde, Moctezuma, Papaloapan. Las cuencas más limpias se localizan en el Noroeste, Pacífico Sur y Golfo Norte.

2.1.1.3 Fuentes de contaminación de aguas superficiales y subterráneas

La mayor parte de la contaminación se origina en los usos doméstico, industrial y agrícola, sin olvidar el impacto de la contaminación natural del agua, que afecta principalmente a las aguas subterráneas próximas a las costas debido a la intrusión salina, la cual normalmente es provocada por la extracción excesiva de agua para consumo humano. Existen dos tipos de contaminación: la puntual y la difusa o dispersa.

Las fuentes de contaminación difusa o fuentes no localizadas, son el resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben. Es claro que la contaminación de fuentes no localizadas es mucho más difícil de identificar, medir y controlar. Por lo general los tipos de prácticas agrícolas y forestales por el uso de plaguicidas e insecticidas, así como el aporte de residuos de insumos agrícolas y las formas de utilización de la tierra, entre las que se encuentran las actividades de alimentación animal (engorda), que producen contaminantes con cargas de nutrientes.

Las fuentes localizadas están asociadas a las actividades en que el agua residual va directamente a las aguas receptoras y se pueden fácilmente cuantificar y controlar. Las principales fuentes de contaminación son: fábricas, refinerías, descargas de agua residuales, gasolineras, lixiviado de rellenos sanitarios, disolución de minerales y formaciones rocosas, entre otras.

Los contaminantes presentes en las fuentes industriales son por lo general metales pesados, compuestos orgánicos específicos, radionúclidos y que a su vez modifican propiedades físico–químicas específicas como pH, salinidad, demanda de oxígeno, dureza, etc. Los componentes de los desechos son microorganismos patógenos, nutrientes y carbono orgánico que se encuentran combinados con aceites, grasas y productos químicos derivados de las industrias cuando estos últimos entran en las corrientes de desechos domésticos a través de los sistemas de alcantarillado. Los desechos industriales contienen, además, cantidades altas de materia orgánica provenientes de las plantas procesadoras de alimentos y bebidas y de la industria del cuero y de la madera. Otras actividades que aumentan la descarga de sedimentos son los jales mineros.

Las principales fuentes de contaminación del agua en México son:

Prácticas agrícolas. Los principales contaminantes son los plaguicidas, llevados hasta los ríos por la lluvia y la erosión del suelo, cuyo polvo llega a los ríos o el mar y los contamina. Las aguas de retorno agrícola son una fuente de contaminación importante cuyo impacto se manifiesta en el alto porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutrofización.

Urbanización. Las descargas de residuos de origen doméstico y público constituyen las aguas residuales municipales. Están relacionadas con los servicios de agua potable y alcantarillado. Éstas se incrementan en los grandes asentamientos urbanos.

Industrialización. Descargas generadas por las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactores para la población. Las descargas industriales contienen metales pesados y otras sustancias químicas tóxicas, que no se degradan fácilmente en condiciones naturales. Entre las actividades más contaminantes destacan la industria azucarera, química, petrolera, metalúrgica y de papel y celulosa.

Sector pecuario. Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado bovino, vacuno y granjas avícolas, entre otras.

Los principales contaminantes y procesos que afectan negativamente la calidad del agua se muestran en la tabla 2.2.

2.1.2 Contaminación del suelo

La contaminación del suelo consiste en la incorporación al suelo de materias extrañas, como basura, desechos tóxicos, productos químicos, y desechos industriales. La contaminación del suelo produce un desequilibrio físico, químico y biológico que afecta negativamente las plantas, animales y al humano. A diferencia de la contaminación del agua, para poder comprender y analizar la contaminación del suelo es importante conocer algunos aspectos relevantes sobre éste.

2.1.2.1 Suelo

El suelo constituye la capa superficial del manto terrestre, cuya profundidad es variable entre 5 y 15 cm. Está compuesto por partículas minerales, organismos vivos, materia orgánica, agua y sales. La mayoría de los componentes provienen de la intemperización de rocas y descomposición de restos vegetales y animales. El suelo es un medio muy complejo, compuesto de tres fases principales: la sólida (50%); la líquida y la gaseosa, dispuesta en diferentes formas (entre las dos últimas integran el 50% restante).

Tabla 2.2 Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Contaminantes y Procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutroficación	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutroficación. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (*E. coli*, protistas, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Origen industrial, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos aromáticos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (COP).	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Desechos nucleares	Incluye una gama amplia de radionuclidos utilizados en fines pacíficos	Plantas nucleares, ensayos nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Kraemer, Choudhury y Kampa (2001)

2.1.2.2 Clasificación de los suelos por su composición

- *Suelos arenosos*: compuestos principalmente de arena. Son muy permeables, y de color gris.
- *Suelos arcillosos*: compuestos en su mayoría por arcilla. Son pesados y compactos, y además poco permeables. Son de color rojizo, aptos para la agricultura.
- *Suelos magros o limosos*: son una mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla; son muy aptos para la agricultura.
- *Suelos humíferos*: poseen gran cantidad de humus y debido a su alto contenido de materia orgánica resultan aptos para cualquier actividad agrícola. Son de color negruzco.
- *Suelos calcáreos*: en ellos se cultiva maíz y cebada. Requieren ser abonados y regados con abundante agua. Las sales calcáreas les dan un color blanquecino.

El suelo es un recurso natural prácticamente no renovable, principalmente desempeña los siguientes usos:

- Actúa como regulador del ciclo del agua y los ciclos biogeoquímicos. Es el medio filtrante del agua que recarga los acuíferos y, por lo tanto, su capa de protección.
- Alberga una gran diversidad de organismos, lo que implica que el suelo contiene importantes reservas genéticas.
- Es el espacio para actividades agrícolas, ganaderas, forestales y recreativas. Es la base para la construcción de obras civiles.

2.1.2.3 Fuentes de contaminación del suelo

Las principales fuentes de contaminación del suelo en México son:

Minería: Las actividades mineras a través de los años, han acumulado residuos mineros conteniendo diversos materiales potencialmente tóxicos, a los cuales se exponen las poblaciones, la flora y la fauna, a través del suelo, aire o de las aguas contaminadas. En otros casos, existe el riesgo de fenómenos de bioacumulación en las distintas fases de las cadenas alimenticias; ejemplo de este tipo de situación, es lo que ocurre con el mercurio. Dos de los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país son el arsénico y el plomo, a los cuales se suma el cadmio y el mercurio.

Explotación del Petróleo: Las intensas actividades petroleras y de obtención de los derivados del petróleo en diversas regiones del país y en el mar, han contribuido a una severa contaminación por hidrocarburos y otro tipo de sustancias potencialmente tóxicas, que han penetrado al suelo y contaminado cuerpos de agua.

Actividades agrícolas: El empleo de agroquímicos en las actividades agropecuarias, frecuentemente mediante prácticas inadecuadas, constituye una de las formas de contaminación más importantes, que impacta no sólo a los suelos de las áreas en donde se aplican sino que llega a través de los ríos hasta las zonas costeras afectando a las especies. Asimismo, el empleo de aguas residuales para riego de cultivos agrícolas con un alto contenido de materia orgánica que actúa como fertilizante, y otras sustancias nocivas, implica el riesgo de que los suelos y los cultivos se contaminen con los residuos químicos provenientes de descargas industriales y municipales.

Actividades industriales: La producción de bienes de consumo a lo largo y ancho del territorio nacional ha generado importantes focos de contaminación, en primer término por la falta de conciencia ecológica que prevaleció por muchos años y, en segundo, por el manejo inadecuado de materiales y todo tipo de residuos, lo cual representa un serio problema en aquellos lugares donde se desarrollan estas actividades.

Fugas y derrames: Como se mencionó anteriormente las fugas y/o derrames de materiales y sustancias peligrosas constituyen una de las principales causas de la contaminación del suelo. La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) señala que el mayor número de emergencias ambientales ocurren en vías terrestres. La fuga o derrame de sustancias ocupa un alto porcentaje; principalmente ocurren en ductos, aunque en las carreteras también se genera un gran número de emergencias ambientales. Este gran número de accidentes trae consigo impactos negativos principalmente al suelo, debido a que es el primer receptor del contaminante. Las emergencias ambientales son causadas principalmente por fallas humanas ocasionando volcaduras y choques, derramando algún tipo de sustancia (principalmente hidrocarburos) en el suelo. Con ello pueden desencadenar daños a la flora y fauna, agua, aire e incluso la salud.

Instalaciones de Servicio: Se han acumulado las evidencias de graves problemas de contaminación de suelos, que conllevan el riesgo de contaminación de acuíferos, por fugas en contenedores de materiales peligrosos, así como por derrames continuos de gasolina, lubricantes, solventes orgánicos y otro tipo de sustancias. Esto se da por prácticas inadecuadas en su manejo, principalmente en estaciones de servicio de gasolina, talleres de reparación de autotransportes, estaciones e instalaciones de ferrocarriles, terminales de autobuses, aeropuertos y diversas industrias.

Basureros a cielo abierto: La disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales e industriales, que pueden contener residuos peligrosos, representa una seria amenaza de contaminación a los suelos y cuerpos de agua.

2.1.2.4 Contaminantes en suelo

Hidrocarburos

Cuando la cantidad de petróleo en el ambiente es mayor de la que puede ser reciclada, se convierte en un contaminante de impacto negativo, ya que entre sus componentes existen altas concentraciones de sustancias consideradas como peligrosas. Algunas de éstas son los siguientes: fenoles, benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, naftaleno, antraceno, fenantreno, cresoles, ciclopentano, ciclohexano y etileno. Otros compuestos como los bifenilos policlorados son completamente sintéticos y altamente tóxicos.

Los compuestos aromáticos en su mayoría tienen actividad carcinogénica en humanos y animales, por lo que la presencia de estas sustancias químicas en suelos y en el agua subterránea para agua de consumo humano representa un peligro enorme para la salud y para quienes tengan contacto con sitios contaminados con hidrocarburos.

El comportamiento de los contaminantes orgánicos está en función de sus características físicas y químicas (densidad, solubilidad, polaridad, entre otras.), además de las características del medio como son la unidad de suelo, permeabilidad, estructura, tamaño de las partículas, contenido de humedad y de materia orgánica, así como la profundidad del manto freático. Factores climatológicos como la temperatura y la precipitación pluvial también tienen una gran influencia. Todas las variables

en su conjunto definen el tamaño y la distribución tridimensional de la contaminación en una zona específica. Probablemente el componente más importante del suelo en relación con la persistencia de sustancias tóxicas es la arcilla. La persistencia aumenta en cuanto más pequeñas son las partículas, debido a que aportan una gran área superficial para la absorción de los productos químicos.

Algunos de los efectos tóxicos de los hidrocarburos en el ambiente dependerán de:

a) La cantidad y composición del petróleo
b) La frecuencia y tiempo de exposición
c) El estado físico del derrame.
d) Las características del sitio donde sucedió el derrame.
e) Variables ambientales como temperatura, humedad y oxígeno.

Con respecto a los derrames y fugas de hidrocarburos, PEMEX reporta que durante el año 2001 hubo un total de 8,031 toneladas de hidrocarburos (crudo, diesel y gasolina) derramados en su mayoría en tierra, en los cuatro sectores de ductos del país. Esta última cifra es importante, ya que de esta manera puede estimarse la magnitud de la contaminación en los sitios cercanos a los derrames. Uno de los estados con mayor incidencia de sitios contaminados por actividades petroleras es Veracruz. De acuerdo con información de PEMEX, dos de los lugares más contaminados por hidrocarburos a nivel nacional son la refinería "Lázaro Cárdenas" y el pantano de “Santa Alejandrina”, ambos ubicados en el sureste de México.

Residuos

Los desperdicios generados en una vivienda, hospital o industria difieren sustancialmente y requieren de un manejo particular. Por esta razón se les clasifica como:

Un material o residuo peligroso (RP) de acuerdo con la LGEEPA, por sus características, representa un peligro para el ambiente, la salud y los recursos naturales. Para calificar a un material o residuo como peligroso, se debe aplicar el análisis conocido como CRETIB. Su nombre resulta de las siglas que corresponden a cada una de las características del material como sigue: Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico infeccioso. La Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993 establece sus características, así como un listado de las mismas y los límites máximos permisibles.

Residuos sólidos municipales (RSM) según NOM-083-ECOL-1996 define los residuos sólidos como aquellos que provienen de casas habitación, sitios de servicios privados y públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, dentro de las RSM se pueden encontrar una gran variedad de residuos peligrosos ya que poseen algunas de las características CRETIB, algunos son: baterías, aceites y grasas, plaguicidas, solventes, tintes, productos de limpieza, fármacos, además de gasas, pañales desechables y papel higiénico.

2.1.3 Residuos peligrosos en México

Las únicas estimaciones en torno a la generación de residuos peligrosos (RP) en México proceden de las propias empresas que los producen. Por normatividad, éstas deben identificar si los desperdicios que originan son peligrosos o no, en cuyo caso deben dar parte a las autoridades respectivas.

Las fuentes generadoras más importantes de RP en el país son los sectores manufacturero y minero. Los RP que se producen en mayor cantidad son sólidos, una categoría que abarca gran diversidad de elementos provenientes de las industrias textil, peletera, del asbesto, autopartes y otras. Los residuos líquidos se generan durante el proceso de elaboración de sustancias químicas, derivados del petróleo y el carbón, hule y plástico, así como de la industria textil del cuero, metal básica y de minerales no metálicos. En tercer lugar figuran los lubricantes gastados, que se originan en todos los casos en los que se emplea maquinaria. Diferentes procesos productivos dan lugar a distintos tipos de residuos. También la cantidad de desechos es muy distinta según la actividad: la industria manufacturera genera más de las tres cuartas partes de los RP del país, seguida por la minería y el petróleo.

Los residuos biológico-infecciosos son definidos en la Norma NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 como aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos, según son definidos en la norma, y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente. Estos RP representan sólo el 1.9% del total de RP generados. Entre los residuos biológico-infecciosos se encuentran la sangre, cultivos y cepas, los patológicos, materiales y objetos punzocortantes que contengan residuos de las muestras biológico-infecciosas con las que estuvieron en contacto. Dado que este tipo de residuos se genera principalmente en hospitales y clínicas (incluidas las veterinarias), el cálculo aproximado del volumen total producido se obtiene a partir de la generación promedio de estos residuos por cama en instituciones hospitalarias.

La situación de los RP tiene dos importantes vertientes; por un lado, la que se deriva de la presencia de sitios ya contaminados y que requieren su remediación y por el otro, aquella orientada a la prevención de la contaminación proveniente de las fuentes en operación. En el país, hasta el año 2004, se tenían identificados 297 sitios contaminados con RP, de los cuales 119 se habían caracterizado. Se clasificaron y jerarquizaron de acuerdo al grado de riesgo que representan para la salud y el ambiente; y 12 se consideraban como rehabilitados o en proceso de rehabilitación. Los estados que concentran el mayor número de sitios con RP son San Luis Potosí, Estado de México, Aguascalientes, Coahuila y Veracruz.

2.1.3.1 Tipos de residuos peligrosos

Entre los residuos peligrosos más frecuentemente encontrados en los sitios contaminados están los metales tóxicos como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo. La forma o especie química bajo la cual se presentan estos metales en los diferentes minerales y residuos puede variar de un lugar a otro, como también su movilidad o disponibilidad; lo cual contribuye a aumentar o disminuir sus riesgos potenciales para la población y ecosistemas vecinos a los sitios en los que se encuentren.

En la industria petrolera, se involucra frecuentemente la limpieza de sitios en los que se depositaron los lodos aceitosos provenientes de los procesos de extracción del petróleo, los cuales contienen cadenas de hidrocarburos de diferente tamaño, biodegradabilidad y toxicidad.

Los plaguicidas acumulados en los suelos como consecuencia de las actividades de producción o formulación de los productos, de la disposición de sus residuos o de su aplicación en el campo, constituyen otro tipo de residuos peligrosos. Lo mismo ocurre con los bifenilos policlorados, los cuales se han visto involucrados en fugas y derrames accidentales, o en vertimientos clandestinos en sitios abandonados.

2.1.3.2 Manejo de residuos peligrosos

El manejo y/o disposición seguro de los RP se aborda de tres maneras. La primera es a través de acciones de prevención orientadas a la reducción de los volúmenes de generación de los RP que se liberan al ambiente. Entre las alternativas para la reducción del volumen de este tipo de residuos está la minimización de su generación, ya sea por reducción o por eliminación de residuos derivados del cambio de tecnologías. Otra estrategia consiste en la reducción de los RP por medio de su reciclaje y reuso, lo que maximiza su utilización antes de su tratamiento y disposición final. Por último, está el tratamiento de los residuos para reducir su peligrosidad.

2.1.3.3 Manejo y disposición de residuos sólidos municipales

El manejo de los residuos sólidos municipales (RSM) comprende las diferentes fases del ciclo: generación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición en algún sitio. El manejo inadecuado de la basura no sólo causa la contaminación del suelo, también puede afectar a la atmósfera, las aguas superficiales y subterráneas y el paisaje urbano y natural.

En México, los sitios de disposición final de los residuos sólidos municipales son los rellenos sanitarios, rellenos de tierra controlados y no controlados, y los tiraderos a cielo abierto.

Los rellenos sanitarios son obras de ingeniería que procuran el adecuado confinamiento de los residuos sólidos municipales. Comprenden el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos, su cobertura con tierra u otro material inerte, así como el control de gases, lixiviados y proliferación de vectores, todo ello con el fin de evitar la contaminación del ambiente y lograr la protección de la salud de la población.

Los rellenos de tierra no controlados son oquedades donde se vierten y mezclan diversos tipos de residuos sólidos municipales sin control o protección al ambiente. Los tiraderos a cielo abierto son aquellos sitios en donde clandestinamente se depositan y acumulan los desechos sólidos municipales sin ningún control técnico, como lotes baldíos, barrancas, ríos, arroyos, manglares y otros cuerpos de agua. Los riesgos al ambiente están relacionados de manera más importante con los tiraderos clandestinos dentro de las zonas urbanas o en los sitios de disposición final que no cuentan con los controles necesarios para manejar adecuadamente los RSM. De esta forma se favorece el desarrollo y el crecimiento de la contaminación del agua, suelo y aire, debido principalmente a la fuga de biogás (nombre genérico de la mezcla de gases producidos por la descomposición anaerobia de los residuos orgánicos, compuesta principalmente de metano y bióxido de carbono) y lixiviado (líquido compuesto por el agua proveniente de precipitaciones pluviales, la humedad de la basura y la descomposición de la materia orgánica, que se filtra entre los residuos sólidos arrastrando materiales disueltos y suspendidos).

En México, poco más de la mitad (51%) de los residuos son de naturaleza orgánica (residuos de comida, jardines y materiales orgánicos similares), correspondiendo el (49%) restante a residuos inorgánicos como el papel y cartón (15%), vidrio (6%), plástico (6%), textil (2%), metal (3%) y otros tipos de basura (17%).

En la última década, México ha triplicado su capacidad instalada en los rellenos sanitarios, ya que 52% de RSM generados son depositados en éstos; el resto aún se confina en rellenos de tierra controlados (11.5%) y no controlados (32.9%).

El volumen de RSM que se recicla en el país, aunque se ha incrementado, aún es muy bajo. De acuerdo a las cifras obtenidas de los sitios de disposición de residuos, en el país se recicla apenas 2.4% del volumen de los residuos generados; sin embargo, dado que mucha de la basura que se puede reciclar se recupera directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección, esta cifra podría llegar al 12%. Los materiales considerados como reciclables, por orden de importancia en términos del volumen, son los productos de papel, vidrio, metal (aluminio, ferrosos y otros no ferrosos), plástico y textil. De cada uno de estos productos la proporción promedio que se recicla con respecto a lo que se genera en los últimos diez años ha sido: 42.8% de papel y cartón, 33.3% de vidrio, 23.6% de metal, 0.2% de plástico y 0.1% de textil.

2.1.4 Efectos en la salud humana por sitios contaminados

El riesgo de una sustancia o residuo tóxico está en función de la exposición, este factor se vuelve sumamente relevante al tratar de caracterizar un sitio contaminado para determinar el grado de riesgo que representa y establecer la prioridad con la cual debe ser limpiado, para reducir justamente dicha exposición. Es importante señalar que el riesgo de un contaminante no es el mismo si la exposición ocurre a través de la piel (exposición dérmica), o mediante su inhalación o ingesta.

La razón por la cual los residuos y sitios contaminados constituyen una amenaza para la salud humana, es principalmente la presencia en ellos de sustancias potencialmente tóxicas, en condiciones que puedan dar lugar a su liberación o movilización hacia otros lugares, y puedan ejercer sus efectos adversos.

2.1.4.1 Efectos en la salud por la contaminación del agua

Algunas personas pueden ser más vulnerables a los contaminantes presentes en el agua potable que la población en general. Los individuos cuya inmunidad es débil, como aquellos que padecen de cáncer y están bajo un tratamiento de quimioterapia, los que han sido objeto de un transplante de algún órgano, los portadores del virus VIH o sida u otros desórdenes del sistema inmunológico, así como los ancianos y niños, tienen mayor riesgo de contraer infecciones.

Cerca de la mitad de la población de países en desarrollo sufre de una o más de las enfermedades asociadas con una inadecuada provisión de agua potable y servicios de saneamiento; estas enfermedades gastrointestinales son: diarrea, shigeliosis, ascariasis entre otras.

El agua contaminada es transmisora de enfermedades e infecciones como la tifoidea, disentería y gastroenteritis. No obstante, en México la tasa de mortalidad por enfermedades diarreicas en menores de 5 años se ha reducido, pasando en 1990 de una tasa nacional de 123 casos por cada cien mil habitantes de este grupo de edad, a 23 casos en el 2000, ubicándose como la cuarta causa de mortalidad infantil en nuestro país.

Por lo general, los efectos del fluoruro sólo se manifiestan tras una exposición prolongada al agua contaminada con esta sustancia. Esta sustancia puede debilitar a las personas, dejarlas gravemente lisiadas o incluso causarles la muerte. Por su parte, la exposición prolongada a bajas concentraciones de arsénico en el agua potable que se bebe, provoca lesiones graves en la piel y puede derivar en casos de cáncer de piel, pulmón, vejiga y riñón.

De los diversos compuestos químicos encontrados en agua subterránea, los orgánicos representan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana. Dentro de este grupo de compuestos, los disolventes industriales y los hidrocarburos policíclicos aromáticos derivados del petróleo son los más comúnmente encontrados en agua subterránea. Algunos ejemplos son el percloroetileno y tricloroetileno; éstos producen depresión del sistema nervioso central, afectan la función del hígado y riñón, dependiendo de la concentración y tiempo de exposición. Se sospecha que el tetracloruro de carbono y el cloroformo son cancerígenos. Está comprobado que el benceno es un agente cancerígeno en humanos.

Un sistema de agua subterránea se degrada cuando un compuesto orgánico potencialmente tóxico alcanza concentraciones de varias decenas de microgramos por litro —partes por billón— o más. Muchos de los compuestos orgánicos tienen solubilidades en agua del orden de decenas y centenas de miligramos por litro — partes por millón—. Por lo tanto, sólo se requiere una baja concentración de estos compuestos para contaminar el agua subterránea.

2.1.4.2 Efectos en la salud por la contaminación del suelo

Algunas de las enfermedades relacionadas con residuos sólidos municipales transmitidas por vectores son: salmonelosis, cólera, amebiasis, disentería, fiebre tifoidea, giardiasis, entre otras. La presencia de agentes biológicos en los RSM puede ser importante en la transmisión directa e indirecta de enfermedades. La presencia de microorganismos patógenos se da también a través del papel higiénico, gasa, pañales desechables o ropa interior contenidos en los residuos de pequeñas clínicas, farmacias y laboratorios, y en la mayoría de los casos, en los residuos hospitalarios mezclados con residuos domiciliarios.

Es importante resaltar que, de manera general, los agentes patógenos son poco resistentes a las condiciones ambientales desfavorables y que sobreviven por poco tiempo en el exterior.

En cuanto a los residuos peligrosos, para establecer una relación de causa y efecto entre contaminación y salud, es necesario definir la ruta de exposición. Según la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades del Departamento de Salud Pública de los Estados Unidos (ATSDR), las rutas de exposición se componen de cinco elementos:

- Fuentes de contaminación o sitios abandonados con residuos peligrosos. Principalmente son los basureros y rellenos no controlados.
- Medios ambientales para el transporte de contaminantes: aire, agua, suelo, polvos y alimentos.
- Puntos de exposición o lugares donde ocurre el contacto del hombre con el contaminante.
- Vías de exposición. Para el agua, suelo, polvo y alimentos, la vía es oral. También por la piel (vía dérmica) pueden entrar al cuerpo humano algunos contaminantes orgánicos y metalorgánicos. La exposición a la radiactividad es total.
- Población receptora: Grupos humanos afectados. El tiempo de exposición y la cantidad de residuos peligrosos son los factores que más influyen en los efectos a la salud humana.

2.2 EVALUACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS

El propósito de la evaluación de un sitio es recolectar la información necesaria para decidir las acciones a tomar cuando éste se encuentra presuntamente contaminado con sustancias peligrosas. El proceso de evaluación de un sitio inicia con el descubrimiento o notificación de la posible presencia de sustancias peligrosas, continúa con la evaluación preliminar y, como última etapa, la evaluación detallada. La evaluación preliminar permite determinar la presencia de contaminantes o de factores que indiquen un riesgo para la población. En la evaluación detallada del sitio se realiza un estudio completo identificando los contaminantes, sus concentraciones y extensión de la contaminación; también puede incluir una evaluación del riesgo.

De manera general para evaluar un sitio contaminado es necesario colectar, clasificar y analizar los datos sobre el sitio; para esto se requiere una planeación adecuada de las actividades que satisfagan los objetivos del estudio. Las actividades de evaluación comprenden la colección de datos, identificación de los principales efectos sobre las personas y el ambiente, diseño del programa de muestreo, colección y análisis de muestras, evaluación de resultados y elaboración del reporte.

La evaluación de un sitio tiene como objetivos:

- Determinar el grado de contaminación del sitio y de peligrosidad para la población
- Establecer medidas de seguridad o protección para la población y el ambiente
- Determinar el nivel de limpieza o de remoción de contaminantes
- Con base en lo anterior establecer las medidas de restauración que convengan.

En particular las autoridades de Protección Civil pueden realizar las actividades resultantes de los primeros dos objetivos debido a su responsabilidad en la protección de la población, y participar con otras instituciones en las actividades para satisfacer los objetivos restantes.

2.2.1 Consideraciones legales aplicables al reconocimiento o evaluación de un sitio

Un sitio puede contaminarse principalmente debido a una disposición inadecuada de sustancias y residuos, así como por un accidente con materiales peligrosos. Un accidente constituye en principio una emergencia pero, una vez detenido el derrame de la sustancia, extinguido el incendio (en caso de que la sustancia se incendie), o detenida una fuga de una sustancia gaseosa o altamente volátil, el sitio puede resultar contaminado y ser necesario hacer una evaluación preliminar para determinar el peligro que puede representar el sitio para las personas cercanas.

En la investigación o evaluación de un sitio contaminado se deben considerar las disposiciones legales existentes en la materia, ya que éstas impactarán en cada una de las fases o etapas de la evaluación. Independientemente de la capacidad o pericia que el investigador posea para llevar a cabo una evaluación, es importante que conozca sus obligaciones y responsabilidades, los límites que la legislación impone para la realización de esta función o actividad, así como las normas y disposiciones aplicables.

Los principales aspectos que el investigador o autoridad deberá considerar son: su atribución para realizar la evaluación de un sitio contaminado y el ingreso al sitio de interés.

2.2.1.1 Atribución para realizar la evaluación de un sitio

El investigador debe estar seguro sobre el alcance de la facultad otorgada para realizar la evaluación de un sitio. Normalmente la evaluación es realizada por una autoridad federal, estatal o municipal (Cuerpo de Bomberos, SEMARNAT, Protección Civil); por lo tanto es necesario que se identifiquen con precisión las facultades, requisitos, limitaciones y obligaciones a que estará sujeto el investigador. Las disposiciones legales existentes deben garantizar que la investigación se realice con objetividad e imparcialidad.

Para la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la identificación de un sitio contaminado con residuos tiene como propósito fundamental la protección del ambiente (Art. 1; Art. 3 fracciones 1, VIII, XIII, XV, XVI; Art. 4 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente). Así, el artículo 39 de la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos establece que la SEMARNAT integrará inventarios de los tiraderos de residuos o sitios contaminados donde han sido abandonados clandestinamente residuos. La información se utilizará para que las autoridades desarrollen medidas para evitar y reducir riesgos. Adicionalmente, el artículo 75 de la misma ley indica que la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales será responsable de llevar a cabo las acciones para identificar, inventariar, registrar y jerarquizar los sitios contaminados con el objeto de determinar si procede su remediación.

Las atribuciones de las Unidades estatales y municipales de protección civil para realizar la evaluación de un sitio contaminado o de aquél donde sucedió un accidente, está relacionado con lo establecido en la Ley General de Protección Civil en la cual se indican las bases para la coordinación para la protección civil entendiendo a estas como el conjunto de disposiciones, medidas y acciones destinadas a la prevención, auxilio y recuperación de la población ante la eventualidad de un desastre. Así, el auxilio comprende las acciones destinadas primordialmente a la salvaguarda de la vida de las personas, sus bienes y la planta productiva (Art. 9, Art. 10, Art. 12 fracciones I y III, Art. 14). Los principios y disposiciones establecidos en la Ley se reflejan en las leyes de los estados, donde se precisan las actividades de protección civil. Por ejemplo, en la Ley Estatal de Protección Civil para el Estado de Nuevo León dentro de las acciones destinadas a salvaguardar la vida de las personas se incluyen: la evaluación de daños, el análisis y la prevención de riesgos (Artículo 2 fracciones II, X, XI, XII; Artículo 3 fracción III).

2.2.1.2 Ingreso a un sitio

Una dependencia puede tener la facultad de realizar una investigación, en este caso la evaluación del sitio; sin embargo, esto no implica necesariamente que legalmente posea el derecho a ingresar a una propiedad en la que se sospeche la existencia de sustancias o materiales peligrosos que puedan representar un peligro para las personas. El derecho para ingresar a una propiedad está regulado y aún en caso de ingresar a una propiedad en el ejercicio de la facultad de investigación puede constituir una falta o violación. El ingreso al sitio se puede obtener por medio de:

Consentimiento: la persona con el poder legal sobre la propiedad puede otorgar el consentimiento para entrar y permanecer en el sitio con el propósito de desarrollar la evaluación; cuando el consentimiento o permiso es de tipo oral, éste puede negarse en cualquier momento. Para asegurar que el consentimiento no pueda posteriormente retirarse es recomendable establecerlo por escrito.

Cumplimiento de una disposición legal: Protección Civil puede intervenir en un sitio para proporcionar auxilio en incendios, explosiones, fugas tóxicas y radiaciones, así como para hacer una evaluación. Por ejemplo, la Ley Estatal de Protección Civil para el Estado de Nuevo León establece la facultad de la dependencia para inspeccionar diferentes instalaciones (Art. 26 fracción XVIII, fracción XIX subfracciones l, m, q, r; fracción XX), así como el procedimiento de denuncia popular (artículos 73 a 77).

Asimismo, los departamentos o cuerpos de bomberos tienen la autorización legal para ingresar a una propiedad para controlar y extinguir un incendio o fuego hostil; así como, la obligación de investigar el origen y la causa de un incendio para asegurar la seguridad de la población.

Cuando el investigador ha establecido su derecho a ingresar a una propiedad donde se sospecha la existencia de sustancias o materiales peligrosos, se debe notificar al propietario o responsable de la propiedad. Asimismo, al ingresar a la propiedad se debe tener cuidado en recolectar las evidencias y documentarlas; en el caso de una investigación en la cual participan diversas autoridades, se debe respetar el derecho de éstas a examinar toda la evidencia existente, el responsable de la investigación debe ser cuidadoso de no destruir, remover o retirar evidencia a menos que legalmente esté facultado para realizar esta acción.

2.2.2 Proceso de evaluación de un sitio

La evaluación de un sitio contaminado o en el que se sospecha el almacenamiento o disposición inadecuada de sustancias, materiales o residuos peligrosos, tiene como objetivo obtener la suficiente información para decidir las acciones apropiadas que deberán realizarse para proteger la salud e integridad de las personas y el ambiente, en el interior de dicho sitio y en los alrededores.

El proceso de evaluación inicia con el descubrimiento del sitio y/o su notificación a las autoridades, en el cual se sospecha la existencia de sustancias o materiales peligrosos; una vez ubicado un sitio se procede a la evaluación preliminar en la cual se recopila toda la información existente sobre el sitio con el propósito de determinar si existe una probable amenaza o riesgo para las personas o el ambiente.

La evaluación preliminar es un análisis sistemático de planos, mapas, documentos e información diversa proporcionada por el propietario, vecinos u otros, o tomados de registros y archivos existentes en dependencias públicas, para determinar si un sitio está o puede estar contaminado, y para determinar la probable naturaleza y localización de la posible contaminación. La evaluación preliminar no involucra muestreo ni análisis y consta de dos partes: el estudio del material de documentación y el reconocimiento del sitio.

Cuando se determina que el sitio presenta una posibilidad de afectación importante y se requiere de mayor información, se desarrolla una evaluación detallada; esta evaluación permite confirmar si existe contaminación, y definir la naturaleza y grado de contaminación a través de un programa de muestreo y análisis. La evaluación detallada consiste de tres etapas:

- Etapa de planeación
- Etapa de muestreo y análisis químico
- Etapa de interpretación y evaluación de resultados.

2.2.2.1 Planeación de las actividades

Para la evaluación de un sitio se requiere planear las actividades a realizar en las que se incluyan los aspectos relativos a la revisión (inspección), sobre seguridad y medidas en caso de accidentes o peligros no evidentes. En el plan de actividades se desarrolla lo siguiente:

- Información sobre el sitio: información resumida en la cual se enfatizan los aspectos para identificar y llevar a cabo los objetivos de la evaluación
- Objetivos de la evaluación: incluye el propósito por el que se realiza la evaluación y los aspectos a determinar o estudiar. Por ejemplo, identificar las sustancias peligrosas y documentar la ubicación de las fugas y áreas afectadas
- Descripción del personal y equipo necesario: de acuerdo con las características del sitio y de los objetivos se determinará el personal y equipo requerido. Por ejemplo, se requieren dos personas con capacitación en actividades en espacios confinados, tres equipos de protección nivel A, cuerdas, pala, medidor para determinar concentraciones de gases, cámara fotográfica, etcétera.

Asimismo, en la planeación de las actividades deben contemplarse las condiciones específicas del sitio:

- Peligros existentes: cuales pueden ser los peligros tanto de tipo físico (estado de la edificación, espacios confinados, temperatura, etc.) como de tipo químico (presencia de vapores, polvos tóxicos, etc.).
- Localización y características del sitio: considerar si el terreno es urbano o rural, caminos de acceso, tipo de terreno (accidentado, barranca, etc.), terreno inundado parcialmente, existencia de cuerpos de agua, etc.
- Distancia necesaria para llegar al sitio y tipo de vehículo necesario: para determinar accesibilidad de recursos.

2.2.2.2 Plan de seguridad

En el plan de seguridad se establecen los requisitos para proteger la salud e integridad física de las personas que realizan la evaluación y la de las personas cercanas al sitio. En el plan se especifican los niveles recomendados del equipo de protección personal para cada actividad a realizar, se proporciona información sobre cómo realizar las actividades generales (por ejemplo: no tomar objetos con las manos sin protección, no ingresar con lentes de contacto en áreas con presencia de vapores), así como las instrucciones y medidas de seguridad necesarias en situaciones de emergencia.

En las actividades normales de la evaluación preliminar se deben cumplir con las prácticas de seguridad e higiene necesarias considerando como mínimo lo siguiente:

- Describir los peligros y riesgos asociados al realizar las tareas de evaluación preliminar en el sitio, incluyendo los peligros conocidos y aquellos posibles de tipo físico, biológico, químico o radiológico

- Designar los niveles del equipo de protección personal requerido de acuerdo a la sección o área y de las tareas a realizar
- Designar las diferentes áreas de trabajo: zona de exclusión, área de descontaminación, área de soporte; indicando sus límites y controles de acceso para cada zona
- Establecer los procedimientos de control para prevenir el acceso no autorizado al sitio. Esta actividad se realiza durante la evaluación preliminar y debe prolongarse cuando existe algún riesgo para la población cercana.

Durante la evaluación preliminar del sitio puede existir una emergencia, por ejemplo: incendio, exposición no planeada a sustancias químicas, lesión física de algún participante, etcétera; estos eventos requieren de atención inmediata para prevenir algún daño a quienes realizan la evaluación, a personas cercanas al sitio o al ambiente; de esta manera el procedimiento para emergencias debe contemplar:

- Deberes y responsabilidades de las personas en el sitio durante la emergencia
- Acciones en caso de incendio o explosión
- Acciones debido a contacto directo con sustancias peligrosas
- Procedimiento de evacuación
- Procedimiento de descontaminación para las personas lesionadas o evacuadas
- Ubicación de centros hospitalarios cercanos, establecer la distancia y el tiempo para llegar a ellos, y el tipo de atención que proporcionan.

2.2.2.3 Evaluación preliminar

La evaluación preliminar permite identificar sitios que presentan poco o ningún potencial para afectar a la salud de las personas y al ambiente, de otros sitios que requieren una evaluación más detallada ya que poseen un potencial importante de afectación. La evaluación preliminar proporciona información específica sobre el sitio, la cual puede dar soporte a una respuesta de emergencia y a las actividades de remoción o restauración; también puede ayudar a satisfacer las necesidades de información de la población cercana al sitio y de la población potencialmente afectable.

La evaluación preliminar es relativamente fácil y rápida de realizarse; asimismo, los costos de la recopilación de información sobre el sitio y sus alrededores son bajos. La evaluación preliminar hace énfasis en identificar a la población y otros objetos de interés (escuelas, ríos, etc.) que potencialmente pueden ser afectados; esta evaluación incluye la recolección de información documental existente sobre el sitio y un reconocimiento inicial del sitio y sus alrededores, pero sin recolectar muestras de residuos o ambientales. En la evaluación preliminar se recopila información del sitio de interés sobre:

- Generación histórica de residuos y prácticas de disposición, cuando se trata de una instalación con alguna actividad industrial
- Fuentes potenciales de sustancias peligrosas
- Sustancias peligrosas potencialmente presentes
- Objetos (población, cuerpos de agua, etc.) que pueden ser afectados
- Principales vías de migración de las sustancias y medios afectados
- Revisión extensa de los objetos afectables.

Consecuentemente, en la recopilación de información se pueden realizar las siguientes actividades:

- Análisis de la historia del terreno a través de fotografías del lugar y aéreas, mapas históricos y actuales, mapas de uso de suelo
- Descripción detallada de las actividades, procesos de manufactura, materias primas, productos, subproductos y residuos; lo anterior cuando en el sitio se desarrollan o desarrollaron actividades de tipo industrial
- Conocimiento de las actividades previas a través de información en registros y archivos locales o de dependencias reguladoras, cámaras o asociaciones
- Realización de entrevistas a los actuales ocupantes del lugar o anteriores, funcionarios de dependencias de gobierno y vecinos
- Realización de visitas para inspeccionar el manejo de los materiales y residuos, de las prácticas de almacenamiento y para localizar el almacenamiento de combustible en instalaciones en operación; por ejemplo, una estación de servicio
- Localización de construcciones, tuberías de desagüe, drenaje, tuberías para conducción de sustancias y tanques de almacenamiento
- Realización de visitas para familiarizarse con la topografía general, condiciones y principales rasgos del lugar y del suelo circundante
- Determinación de las características geológicas naturales del área a partir de documentos y mapas
- Revisión de información hidrogeológica del área, localización de acuíferos y de suministros de agua
- Obtención de datos meteorológicos: tipo de clima, dirección de vientos predominantes, velocidad del viento, niveles de precipitación, temperaturas, etcétera
- Ubicación de centros de población cercanos y caracterización de la población expuesta
- Obtención de información sobre especies amenazadas o en peligro de extinción.

En la evaluación preliminar se identifican factores críticos que determinan las condiciones de peligrosidad del sitio y que, posteriormente, podrán evaluarse detalladamente. La información obtenida en la evaluación preliminar servirá para sustentar las hipótesis que sobre el sitio se elaboren, por ejemplo, causa y origen de la presencia de sustancias peligrosas, afectaciones posibles, etcétera; las hipótesis planteadas pueden probarse en etapas posteriores de la evaluación del sitio. La evaluación preliminar puede recomendar o sugerir se realicen investigaciones o análisis de muestras basándose exclusivamente en sospechas sin un sustento documental analítico, esto se debe a que no se realiza un muestreo del sitio. El muestreo del sitio puede confirmar las hipótesis establecidas en la evaluación preliminar e indicar qué tan serio es el peligro que representa el sitio para la población o el ambiente.

Para algunos sitios contaminados con sustancias peligrosas puede conocerse el tipo de fuente, tipo de liberación y las sustancias presentes, debido a investigaciones previas o por ser un sitio donde se realizaban actividades conocidas, por lo que la evaluación preliminar podrá enfocarse a confirmar

la anterior información y a determinar el peligro que representa el sitio para la población y el ambiente. De esta manera, al revisar la información sobre el sitio se puede establecer de manera preliminar la amenaza que éste representa para:

- Pozos para abasto de agua (agua subterránea) debido a la infiltración y migración de sustancias peligrosas
- Cuerpos de aguas superficiales debido a contaminación con sustancias peligrosas por escurrimiento y arrastre
- Población afectable debido a la contaminación del agua
- Población afectable debido a la contaminación del suelo
- Población afectable debido al transporte de sustancias peligrosas por el aire.

La revisión de la información general del sitio ayuda a una mayor comprensión de éste; asimismo, cumple dos propósitos:

- Permite determinar los objetivos y alcances de futuros estudios con mayor profundidad a realizarse en el sitio, en los que se incluya al muestreo, para verificar las características físicas del sitio, sus alrededores y especialmente en localizaciones donde se observaron afectaciones (o posibles afectaciones a la población y al ambiente), y
- Determinar si las hipótesis elaboradas sobre el sitio son consistentes con la información.

Adicionalmente, la revisión de la información ayuda a refinar el plan de trabajo al señalar puntos de particular interés que deberán revisarse. Las hipótesis establecidas para un sitio en la evaluación preliminar, por ejemplo: sobre el origen o fuente de la contaminación y sus posibles niveles de peligrosidad, son el sustento o base para las acciones de protección a la población y al ambiente, así como para posteriores investigaciones que incluyan un programa de muestreo. Debido a lo anterior, las hipótesis deben reflejar las condiciones presentes en el sitio y estar perfectamente fundamentadas. Una información incorrecta puede conducir a elaborar hipótesis no realistas, por ejemplo, una distancia mayor a la existente entre las áreas contaminadas y la población cercana puede sugerir una afectación menor a la real.

Reconocimiento del sitio

El reconocimiento del sitio es una actividad que se lleva a cabo para corroborar la información obtenida de la evidencia documental, añadir más detalles y para complementar la información. Esta actividad es muy útil para evaluar las condiciones generales del lugar, las áreas de posible contaminación, para desarrollar el plan de muestreo y prever los peligros potenciales asociados a éste.

Antes de iniciar el reconocimiento del sitio el grupo de investigación debe establecer las condiciones para ingresar al mismo y preparar los procedimientos de seguridad e higiene. El reconocimiento previo del sitio es importante cuando se quiere evaluar la necesidad de acciones de respuesta a emergencias; las cuales pueden incluir la estabilización y reforzamiento de estructuras, remoción de residuos, cercado del sitio o de las fuentes, evacuación de la población cercana y otras actividades para eliminar, controlar o mitigar cualquier amenaza inminente a las personas o al ambiente.

El grupo que realiza el reconocimiento del sitio deberá determinar:

- Localización de todas las fuentes de contaminantes (sustancias, materiales y residuos)
- Determinar el estado físico de las sustancias, materiales o residuos en las diferentes áreas del sitio en estudio
- Identificar cada tipo de fuente de contaminación
- Examinar cada fuente buscando evidencia que permita establecer la migración de sustancias peligrosas
- Determinar las características de contención de la fuente (cantidad, estado de deterioro del recipiente, tamaño de fuga, etc.)
- Identificar las trayectorias de flujo de contaminantes (sustancias peligrosas) en el suelo y superficies
- Determinar las distancias de las fuentes a los objetos en peligro o vulnerables (arroyos, ríos, población, cultivos, etc.) tanto en el interior como en el exterior del sitio
- Establecer con precisión en los esquemas (planos, dibujos, diagramas) que se elaboren del sitio los aspectos relevantes o de interés, por ejemplo: localización de las fuentes de sustancias peligrosas, trayectorias de los escurrimientos, zonas afectadas, etcétera.

En lo posible el reconocimiento debe hacerse a pie y caminar primero alrededor del perímetro del terreno antes de inspeccionar el área central y los puntos de interés. Durante el reconocimiento del sitio se deben llevar a cabo las siguientes actividades:

- Hacer un plano del sitio en el que se ubiquen: construcciones o instalaciones, tanques, contenedores, hoyos, estanques y pozos de monitoreo de agua subterránea y otros objetos de interés
- Revisar y destacar en fotografías aéreas del sitio tanto históricas como actuales, lo siguiente:
  - Desaparición de depresiones naturales, hoyos y tierras húmedas
  - Variaciones en la vegetación de las áreas dañadas
  - Cambios en la vegetación alrededor de las construcciones
  - Otros aspectos de interés
- Identificar signos de calentamiento o combustión
- Observar la apariencia del agua superficial
- Observar y ubicar cualquier indicador biológico que pueda ser evidencia de contaminación, como son: animales muertos, vegetación dañada, falta de animales y de vegetación propia de la zona
- Registrar cualquier condición anormal, como son: temperatura, manchas, lugares con aceite u otras sustancias
- Observar y registrar la presencia de vapores, humos y olores extraños
- Observar la condición y apariencia superficial de los materiales
- Registrar la presencia de materiales expuestos en excavaciones y pendientes

- Observar la presencia de tanques, tambores y otros contenedores, registrando los detalles de cualquier marca, identificación, signos de fuga, derrame o deterioro
- Ubicar lagos, lagunas, pozos, áreas pantanosas y depresiones
- Localizar drenajes, zanjas de irrigación, caídas de agua, corrientes y cursos de agua
- Determinar las rutas de acceso al sitio para investigaciones exploratorias futuras
- Hacer diagramas de flujo de los procesos y mapas de las áreas de disposición de residuos.

Es muy importante la recopilación exacta y detallada de la información histórica del sitio, ya que normalmente esta actividad influye sobre cualquiera de las actividades posteriores de la investigación. Todos los hallazgos o evidencias obtenidas durante el reconocimiento deberán ser documentados ya sea mediante registros escritos, fotografías, video o por otro medio.

En la etapa de revisión de la evaluación preliminar, el investigador debe determinar los factores que requieran de un análisis más detallado. La investigación de estos factores o hechos se realizará en la evaluación detallada que incluye el muestreo o toma de muestras del sitio. El investigador debe establecer cuándo el muestreo del sitio es necesario (se justifica) o bien confirmar que el sitio y/o las construcciones están libres de contaminación y que no es necesaria una investigación adicional más detallada.

2.2.2.4 Evaluación detallada

Como se establece anteriormente, la evaluación detallada debe caracterizar el tipo y extensión de la contaminación en el sitio o confirmar que el contaminante que se sospechaba no está presente; asimismo, en esta etapa se obtiene nueva información por medio de observación visual y muestreo. La evaluación detallada tiene como propósitos:

- Identificar las unidades e instalaciones que no presentan problemas
- Colectar evidencias de liberaciones de sustancias o contaminantes
- Establecer prioridad en las instalaciones para su investigación posterior
- Identificar el objetivo de las acciones correctivas inmediatas o de la investigación para una restauración del sitio.

En esta etapa, los puntos de muestreo deben planearse estratégicamente para identificar las sustancias o contaminantes presentes, y determinar si éstas han impactado objetivos específicos por medio del agua superficial, agua subterránea, aire y/o suelo.

La evaluación detallada consiste en cuatro actividades principales:

Revisión de la información disponible: Antes de desarrollar los planes de la evaluación detallada, el investigador debe revisar los resultados obtenidos a partir de investigaciones previas, particularmente de datos analíticos. Estos datos pueden ayudar a guiar el muestreo adicional, probar las hipótesis sobre el sitio y evaluar amenazas de contaminación o afectación en:

- Pozos de agua potable, por la migración de sustancias peligrosas al agua subterránea
- Tomas de agua potable, debido a la migración de sustancias peligrosas a cuerpos de agua superficial
- Piscicultura y ambientes sensibles, por migración de sustancias tóxicas a las aguas superficiales
- Residentes y ambientes sensibles a la contaminación del suelo, y
- Poblaciones y ambientes sensibles, por migración de sustancias peligrosas al aire

Organización del grupo de trabajo y desarrollo de los planes de trabajo: Después de revisar los datos que se obtuvieron sobre el sitio, se debe organizar el grupo de trabajo, el cual podría consistir de personal administrativo, científico, técnico y de campo con responsabilidades específicas contenidas en los diferentes planes. El personal mínimo recomendable para conformar el equipo incluye: un director del proyecto o investigador, personal de muestreo de campo, un químico y un geólogo.

Después de evaluar los resultados previos y toda la información pertinente, el director del proyecto debe preparar cuatro planes claros y concisos para documentar los procedimientos de la evaluación detallada del sitio y de esta manera, determinar los objetivos de las investigaciones y asegurar que las actividades de la evaluación proceden segura y eficientemente. Asimismo, deben elaborarse los siguientes planes antes de empezar las actividades de campo:

- Plan de trabajo
- Plan de muestreo
- Plan de higiene y seguridad
- Plan de manejo de los residuos generados durante la investigación

Los planes anteriores documentan los procedimientos que van a usarse, los recursos necesarios y los fundamentos detrás de las tareas. El plan de trabajo principalmente cubre las actividades administrativas, mientras que los otros cubren las actividades de campo y pueden ser secciones dentro del plan de trabajo o bien documentos separados. El plan de muestreo contiene la justificación de los sitios de muestreo propuestos y las instrucciones explícitas para la colección de muestras. El plan de higiene y seguridad describe las acciones para proteger a los trabajadores de acuerdo a procedimientos de operación específicos.

El trabajo de campo involucra el reconocimiento del sitio, las observaciones en campo y el muestreo de los diferentes medios. El reconocimiento del sitio se realiza antes de empezar el trabajo de campo para estudiar el lugar y las condiciones de las fuentes de contaminación y para verificar los puntos de muestreo. Los análisis de las muestras deben programarse antes de empezar los trabajos de campo.

Las actividades típicas que incluye el trabajo de campo son:

- Observaciones de campo complementarias y ubicación exacta de los puntos de muestreo
- Localización y medición de distancias a los receptores
- Ubicación de poblaciones cercanas al sitio
- Colección de muestras de materiales y residuos presentes en el lugar

- Muestreo de suelo superficial y sub-superficial, de agua superficial y subterránea, de vapores y de sedimento
- Empacar y enviar las muestras al laboratorio para su análisis
- Análisis de tipo geomagnético, geofísico o equivalentes
- Obtención de información para completar los procedimientos de descontaminación

El tiempo que toma el trabajo de campo es variable y dependerá, por ejemplo, del tamaño del sitio, el número de fuentes de contaminación o si se requieren pozos de monitoreo de agua subterránea.

Evaluación de datos: El director del proyecto debe reunir y resumir todos los datos para evaluarlos. Los resultados de las muestras deben permitir evaluar:

- Las características del sitio y de la fuente
- La presencia de sustancias o contaminantes en los diferentes medios (agua superficial, agua subterránea, aire, suelo)
- Receptores actuales o potencialmente expuestos a la contaminación

También debe prepararse un reporte de los hallazgos más significativos incluyendo la naturaleza y la historia del manejo de los residuos en el sitio, las sustancias peligrosas detectadas, las rutas de migración de estas sustancias y el impacto sobre los seres humanos y el ambiente.

Los datos colectados durante la evaluación detallada se deben comparar con criterios o valores establecidos como máximos permisibles para suelo, sedimento y, agua superficial y subterránea. Esta comparación proporcionará un indicador inicial de la existencia de contaminación en el sitio y del grado de restauración requerido. Con base en las conclusiones de la evaluación detallada del sitio, la dependencia correspondiente debe tomar una de las siguientes decisiones:

- La evaluación está concluida
- Se requiere investigación adicional
- Es necesario llevar a cabo la restauración del sitio.

2.2.3 Documentación de la evaluación

Existen tres tipos de información a ser recolectada por el equipo que realiza la evaluación:

- Evidencia humana o testimonial: incluye las declaraciones del propietario y vecinos, afectados, así como las observaciones realizadas sobre el sitio
- Evidencia física: es la parte material relacionada con el sitio e incluye: equipo, contenedores, recipientes, sustancias, materiales y accesorios
- Evidencia documental: incluye todo tipo de documentos físicos e información electrónica sobre el sitio como son: registros sobre descargas de aguas residuales, reportes, manifiestos para manejo de residuos, fotografías, grabaciones en video y documentación en general.

*2.2.3.1 Recolección de información en la evaluación prelim*inar

El investigador puede emplear diversos formatos para documentar, recolectar y resumir información del sitio; estos formatos pueden ser una manera de resumir información sobre:

- Datos históricos del sitio (usos, procesos, etc.)
- Información obtenida durante la evaluación preliminar y detallada
- Información sobre factores o condiciones que no se han evaluado completamente
- Muestreos adicionales necesarios para obtener información complementaria.

A continuación se muestran ejemplos de formatos para la recolección de información de los diferentes componentes del sitio.

Tabla 2.3 Información del sitio

Dirección: Calle: Número: Colonia: Ciudad: Estado: Código postal:
Nombre del propietario o responsable: Nombre: Domicilio: Calle: Número: Colonia: Ciudad: Estado: Código postal:
Tipo de propiedad: Federal Estatal Municipal Privada
Superficie del predio: Dimensiones del predio: Localización coordenadas Longitud: Latitud:
Tipo de uso de suelo: Agrícola Comercial Habitacional Industrial Forestal Otro (describir)
Actividades actuales y anteriores que se realizaron en el sitio:
Sitio contaminado debido a un accidente en transportación:
Actividades que se realizan en los predios contiguos:
Descripción de las vías de acceso al sitio:
Indique la ubicación y número de personas en los alrededores del predio que pueden ser afectados:
Indique la población o grupo de personas más cercana al sitio, la distancia entre ambos (medido del límite del predio a las personas) y la cantidad de personas:
Describa la información histórica sobre la exposición de personas a las sustancias presentes en el sitio:
Existe información sobre actividades de remoción de sustancias o residuos en el sitio, o de alguna actividad de restauración anterior:
Datos meteorológicos del sitio (precipitación, temperaturas, dirección de los vientos, velocidad del viento, etc.):
Descripción sobre el acceso al interior del sitio (por ejemplo: libre acceso a personas ya que no existen bardas o límites de propiedad):
El sitio en estudio se encuentra dentro de alguna zona de inundación:

Tabla 2.4 Información sobre sustancias y residuos

Indicar el origen o fuente de la sustancia o residuo: Descarga de aguas residuales Tiradero clandestino Almacenamiento no autorizado (tambores, recipientes) Suelo contaminado Foso, pileta o pozo para acumulación de residuos Otro
Indicar el tipo de residuos: Sustancia orgánica Sustancia inorgánica Residuo sólido Sustancia inflamable (solventes, combustibles) Material radiactivo Material biológico-infeccioso
Información histórica sobre el manejo, almacenamiento o disposición de sustancias o residuos en el sitio:
Características y ubicación de las fuentes o puntos de origen (esta sección se debe llenar para cada una de las fuentes identificadas): Fuente (identificador de la fuente): Descripción de la fuente Ubicación Tipo de fuente Estado físico del residuo o sustancia (sólido, líquido, gas, lodo, desconocido) Tipo de residuo Cantidad de residuo o sustancia (volumen o peso) Contaminación en el suelo (existente, probable) Dimensiones del área de suelo contaminada Contaminación de cuerpos de agua superficial (existente, probable, no observable) Contaminación del aire (existente, probable, no observable) Contaminación del agua subterránea (probable, muy probable, no observable) Residuos o sustancias peligrosos presentes en la fuente Observaciones adicionales
La exposición a las sustancias presentes no está limitada (no existe ningún medio que impida el contacto de las personas con la sustancia):

Tabla 2.5 Información sobre cuerpos de agua superficiales

Descripción de los cuerpos de aguas superficiales existentes en el sitio o cercanos:
Ubicación del cuerpo de agua probablemente contaminado:
Descripción de la apariencia de la superficie del agua:
Evidencia de contaminación en alguno de los cuerpos de agua:
Descripción del tipo de evidencia observada (por ejemplo: peces muertos, comportamiento extraño de los peces, animales muertos, marchitamiento o coloración extraña de las plantas):
Análisis requeridos para comprobar la contaminación del cuerpo de agua:
Distancia del cuerpo de agua a la posible fuente de contaminación más cercana (por ejemplo: almacenamiento de residuos peligrosos):
Uso del cuerpo de agua (suministro de agua potable, agua para riego, pesca o actividades recreativas):
Existencia de descargas directas al cuerpo de agua (de tipo industrial, agrícola, humano):

Tabla 2.6 Información sobre agua subterránea

Ubicación de los pozos para suministro de agua en el sitio y sus alrededores:
Información sobre explotación de agua subterránea en la zona donde se ubica el sitio en estudio:
Establezca la distancia (profundidad) entre el nivel del suelo y el espejo de agua en el pozo:
Indicar si en los pozos o el agua se presentan indicios o evidencias de contaminación:
Indicar el tipo de indicios o evidencias de contaminación que presenta para cada uno de los pozos considerados:
Establezca si puede atribuirse la contaminación o cambio en las características del agua a la presencia de sustancias o residuos procedentes del sitio en estudio; indique las razones para afirmar lo anterior:
Número de personas que utilizan el pozo:
Describa si las personas presentan algún síntoma que puede atribuirse a la ingestión o contacto con el agua:
Establezca la distancia entre cada uno de los pozos considerados y las fuentes potenciales de sustancias o residuos peligrosos:
Indique los diferentes usos del agua extraída de los pozos (riego agrícola, servicios, recreativo, consumo humano o animal):

Tabla 2.7 Información sobre suelo

Establezca la extensión y ubicación de la superficie afectada en un plano del sitio en estudio:
Indique las evidencias de contaminación encontradas y si pueden atribuirse a las sustancias o residuos presentes en el sitio:
Establezca la distancia entre las áreas contaminadas y puntos de interés (escuelas, casas habitación, industria, oficinas, etc.):
Señale los accesos a las áreas contaminadas o cercanas:
Determine y ubique signos de calentamiento o combustión en las áreas contaminadas:
Determine y ubique si existe una coloración extraña en la vegetación en las áreas contaminadas (de interés):
Indique si existe la presencia de animales muertos:
Identifique y ubique si existe evidencia de entierros en el sitio:
La apariencia del suelo y el polvo en el sitio es diferente a la del suelo natural:
Establezca si el suelo en las áreas afectadas no tiene vegetación y si el polvo con las sustancias o residuos puede ser transportado por el viento:

Tabla 2.8 Información sobre aire

Identifique y ubique la presencia de polvo, olores, vapores o humos dentro del sitio de interés:
El origen del polvo, olores, humos o vapores puede atribuirse a sustancias o residuos existentes en el sitio:
Existen niveles de inflamabilidad o explosividad en el sitio que representen un peligro:
Existen el sitio humos o vapores tóxicos, o que impidan o dificulten la respiración:
Indicar si el polvo, olores, vapores o humos en el sitio pueden ser transportados por el viento y alcanzar a las personas cercanas a éste:

Tabla 2.9 Información sobre las instalaciones

Ubicar en un plano y describir las instalaciones (construcciones) existentes en el sitio:
Indique las actividades que se realizan o realizaron (en caso de ser un sitio sin actividad actual) en el sitio:
Describa el deterioro o afectación de las estructuras y que pueden ser atribuidas a la presencia de sustancias o residuos peligrosos:
Indique las evidencias que permitan identificar actividades en las instalaciones con sustancias, materiales o residuos peligrosos:

2.2.4 Determinación del nivel de riesgo en la evaluación preliminar

En la evaluación preliminar no se realizan muestreos o análisis por los cuales pueda determinarse de manera cuantitativa la toxicidad de una sustancia o residuo para las personas, la capacidad de una sustancia para transportarse o ser transportada en los diferentes medios, y la exposición existente o posible de las personas a las sustancias o residuos. Para determinar el nivel de peligro que un sitio representa para la población y las acciones a realizarse, basándose en la información recopilada en la evaluación preliminar, se requiere establecer la exposición de las personas, la población afectable y él o los medios afectados.

Las tablas siguientes permiten colectar y resumir la información sobre peligrosidad de las sustancias, materiales o residuos; exposición y afectación a las personas; y afectación al ambiente. Esta información se empleará para determinar el nivel de riesgo que representa el sitio, considerando en primer término la protección de la población.

Tabla 2.10 Peligrosidad de las sustancias químicas o residuos

Nombre de la sustancia y/o descripción del residuo	Peligrosidad (de acuerdo a NFPA, NOM-018-STPS) o clase de residuo (NOM-052-SEMARNAT-1993)

Tabla 2.11 Afectación de la sustancia peligrosa a los diferentes medios

	Si[1]	No[2]	Presente/posible[3]
Suelo			
Agua superficial			
Agua subterránea			
Aire			
Alimentos (cultivos, fauna, vegetación)			

1 Se refiere a que el medio puede ser afectado
2 Se refiere a que el medio no puede ser afectado
3 Se refiere a que un medio puede ser afectado, y si existen o no evidencias de afectación

Tabla 2.12 Rutas de exposición a la población[1]

	Si	No	Presente/posible[2]
En el sitio			
Suelo			
Agua superficial			
Agua subterránea			
Aire			
Otro			
En el exterior del sitio			
Suelo			
Agua superficial			
Agua subterránea			
Aire			
Otro			

1Por ruta de exposición se entenderá al medio por el cual las personas pueden entrar en contacto con la sustancia o residuo
2 Indicar la vía de exposición: ingestión, inhalación y/o contacto; y si existen evidencias o no de exposición

Tabla 2.13 Población potencialmente afectable

	Si	No	Cantidad
En el sitio			
En el exterior del sitio			

Tabla 2.14 Distancia del sitio a la población afectable

Distancia	Población afectable
50 m	
100 m	
Mayor a 100 m	

Tabla 2.15 Preocupación social

	Si	No	Potencial	Resumen Histórico
Preocupación social				

Tabla 2.16 Evidencias de contaminación o afectación al ambiente

	Sí	No	Observaciones
Dentro del sitio			
Suelo			
Agua superficial			
Agua subterránea			
Aire			
Instalaciones			
En el exterior del sitio			
Suelo			
Agua superficial			
Agua subterránea			
Aire			
Otro (alimentos)			

Tabla 2.17 Evidencias de exposición de las personas

Descripción de los casos:
Tipo de contacto (contacto directo con la sustancia, inhalación, ingestión):

Tabla 2.18 Evidencias de afectación a la población

Describir afectación:
Describir grado de afectación:

La peligrosidad de una sustancia, material o residuo presente en un sitio puede determinarse de diferentes maneras, entre las que se incluyen las siguientes:

- Cuando la sustancia se encuentra dentro de un recipiente, este puede poseer etiquetas o carteles que identifiquen el contenido y sus características peligrosas. La NOM-018-STPS-2000 *Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos para sustancias químicas peligrosas* establece las características de las etiquetas y, la clasificación por tipo y nivel de peligro.
- Cuando la sustancia presente en el sitio de estudio se debe a un accidente en transportación, y la unidad de transporte o recipiente se encuentra ahí, puede emplearse para la identificación de la sustancia la NOM-002-SCT-2003 *Listado de sustancias y materiales más usualmente transportadas* y la NOM-004-SCT-2000 *Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos*, en las cuales se establecen los nombres de las sustancias, el número correspondiente de las Naciones Unidas y la clase de peligro.
- Cuando existe algún recipiente en una instalación industrial o área de almacenamiento que contiene un residuo y no se cuenta con etiquetas que lo identifiquen; el residuo puede

identificarse considerando las actividades que se realizan o realizaron en esta instalación y empleando la NOM-052-ECOL-1993 *Características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente*, en la cual se establecen las características peligrosas de un residuo de acuerdo a la actividad que lo generó.

- Cuando se trata de una sustancia o residuo desconocido, la determinación de la acidez o basicidad (pH) puede establecerse usando un medidor de pH, o de manera más sencilla empleando papel indicador de pH; de esta manera puede establecerse el peligro por corrosividad considerando lo establecido en la NOM-052-ECOL-1993.
- Para determinar si una sustancia o residuo es inflamable puede emplearse un medidor de gases explosivos y evaluar los niveles presentes en la atmósfera cercana a la sustancia o residuo; sin embargo, esta no es una determinación de la característica de inflamabilidad. Para determinar la toxicidad y la inflamabilidad de una sustancia o residuo es necesario tomar muestras de ésta y realizar los análisis fisicoquímicos correspondientes.

Para determinar si un sitio representa un riesgo a la población se deben establecer las siguientes condiciones:

- Se encuentra presente en el sitio uno o más contaminantes (residuos, sustancias o materiales)
- El contaminante es peligroso
- El contaminante o sustancia puede transportarse y llegar a la población

Una vez establecidas las condiciones anteriores debe determinarse:

1. Población potencialmente afectable

2. Posibilidad de que las personas se expongan a las sustancias peligrosa

3. Medios (agua superficial, aire, suelo, etc.) en los que la sustancia puede transportarse; este punto es crítico cuando existe más de un medio contaminado.

Para establecer el nivel de riesgo, el orden de prioridad es el anotado anteriormente ya que la principal preocupación de las autoridades de protección civil es la seguridad de la población. Asimismo, la percepción que la población tiene sobre su seguridad es importante por lo que debe considerarse:

- Existencia de preocupación social debido a la posible presencia de sustancias peligrosas en el sitio; determinar si existe temor en la población (crítico, moderado, mínimo).
- Características de vulnerabilidad de las personas o población cercana al sitio. Este aspecto incluye: distribución de la población (niños, adultos), medios de evacuación (accesibilidad, calles pavimentadas, calles principales), nivel educativo, grados de desnutrición, etcétera.

Las anteriores consideraciones de tipo social son importantes para precisar el nivel de riesgo de un sitio; sin embargo, su importancia radica principalmente para determinar las acciones o establecer medidas de protección adicionales.

Para establecer el nivel de riesgo de acuerdo a la información obtenida del sitio en la evaluación preliminar se consideran los criterios indicados en la tabla siguiente.

Tabla 2.19 Criterios para la determinación del nivel de riesgo

Criterios	Nivel de riesgo
Existe una o más sustancias peligrosas en pequeñas cantidades y no existe evidencia de liberación al ambiente de éstas Las sustancias peligrosas no pueden ser transportadas por ninguno de los medios (agua, aire, etc.) La población difícilmente puede tener contacto con las sustancias	Sin riesgo
Existe una o más sustancias peligrosas No existe liberación de sustancias o esta es menor La posibilidad de que una o más sustancias peligrosas puedan ser transportada en uno o más medios es menor Las sustancias liberadas no presentan un nivel de peligro significativo No existe población cercana y la exposición es poco posible	Riesgo mínimo
Existe una o más sustancias peligrosas Las sustancias se han identificado como mediana o altamente peligrosas Una o más de las sustancias peligrosas pueden ser transportadas en uno o más medios Peligro moderado para las personas cercanas al sitio, de acuerdo con la cantidad de sustancia, extensión contaminada y peligrosidad de la sustancia El peligro se encuentra localizado dentro del sitio Área de afectación pequeña a mediana Existe población cercana al sitio La exposición es posible Existen evidencias de exposición y afectación a la población Existen evidencias de afectación al ambiente	Riesgo mediano
Existe una o más sustancias peligrosas Las sustancias se han identificado como mediana o altamente peligrosas Existen evidencias de liberación Existe evidencia de que una o más sustancias peligrosas fueron transportada por uno o más medios Existe población cercana al sitio La exposición es posible en corto tiempo Existen evidencias de exposición y afectación a la población Existen evidencias de afectación al ambiente Población altamente vulnerable	Riesgo alto

Para establecer las acciones básicas de acuerdo al nivel de riesgo determinado para el sitio, se considera la tabla siguiente.

Tabla 2.20 Niveles de riesgo y acciones básicas

Niveles de riesgo	Acciones básicas
Sin riesgo	Ninguna acción en el sitio Posibles recomendaciones al propietario del sitio para mejorar el manejo Comunicación de riesgo al público
Riesgo menor	Controlar el acceso al sitio No requiere acciones inmediatas Comunicación del riesgo al público Establecer medidas para contención de la contaminación Aplicar medidas para reducir una posible exposición
Riesgo mediano	Controlar el acceso al sitio para evitar exposición Instrumentar medidas de vigilancia del sitio y áreas próximas Evacuación precautoria de la población en riesgo Comunicación del riesgo a la población afectable Ubicar mensajes de advertencia en el sitio Establecer medidas para contención de la contaminación Puede requerirse evaluación detallada para confirmar o reclasificar el sitio Coordinación con las autoridades correspondientes para establecer procedimiento y posibles medidas de restauración
Riesgo alto	Se requieren acciones inmediatas para restringir completamente el ingreso de personas al sitio y para el transporte de las sustancias o residuos a los diferentes medios Evacuación de la población en riesgo Comunicación del riesgo a la población afectable Ubicar en el sitio mensajes de advertencia Instrumentar medidas de vigilancia Se requiere evaluación detallada Coordinación con las autoridades correspondientes para establecer procedimiento y medidas de restauración

Los criterios, niveles de riesgo y acciones básicas indicados en las tablas correspondientes se establecen de manera subjetiva, debido a que en la evaluación preliminar no se dispone de datos analíticos obtenidos del muestreo y de la investigación detallada del sitio, éstas podrán modificarse dependiendo de la información disponible, de las características del sitio y de los alrededores.

2.2.5 Ubicación de sitios contaminados con sustancias o materiales peligrosos en un mapa de riesgos

Para elaborar un mapa municipal de sitios identificados como contaminados o potencialmente contaminados por sustancias y/o residuos peligrosos se debe considerar lo siguiente:

- Utilizar mapas elaborados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) escala 1:50,000 o de preferencia escala 1:20,000 donde aparecen las principales características geomorfológicas, como cerros y ríos, zonas de vegetación, asentamientos humanos y vías de comunicación. En el mapa a escala 1:20,000 es posible identificar con claridad la traza urbana y las colonias que podrían ser afectadas por la contaminación en el sitio.

- Para hacer la ubicación en el mapa utilice la simbología establecida en la Guía Cartográfica para el Levantamiento de Riesgos a Nivel Municipal, publicada por la Secretaría de Gobernación y el Sistema Nacional de Protección Civil.

- Cuando se emplee un Sistema de Información Geográfica (SIG), en la elaboración de un mapa de peligros por sitios contaminados es necesario establecer la geo-referenciación (latitud y longitud) de dichos sitios. Esto puede hacerse empleando un aparato o receptor GPS (Global Positioning System, sistema de posicionamiento global), además pueden establecerse otros datos de tipo geográfico, por ejemplo los límites del sitio.

2.2.6 Reporte de la evaluación del sitio

La elaboración de un reporte con la información obtenida en la evaluación del sitio es esencial, ya que en él se detallan:

- Las actividades de manejo de sustancias y materiales peligrosos en el sitio en forma histórica
- Las sustancias peligrosas en el sitio
- Las vías y trayectorias de las sustancias
- Las poblaciones humanas que son o pueden ser afectadas
- Los componentes ambientales que son o pueden ser afectados
- Los resultados analíticos obtenidos de los muestreos a los componentes del sitio (agua, aire, suelo, residuos, etc.)

El reporte de la evaluación preliminar o detallada realizada al sitio puede desarrollarse de acuerdo con el contenido siguiente:

Introducción: En este capítulo se establece:

- La autoridad responsable de la realización de la evaluación del sitio, indicando los participantes en la evaluación

- Las bases o fundamentos legales para la realización de la investigación
- El motivo o causa de la evaluación
- El propósito, los objetivos y los alcances de la evaluación o investigación.

Descripción del sitio: En este capítulo se establecen:

- Datos generales del sitio: dirección, propietario, tipo de propiedad, superficie del predio, coordenadas geográficas, etc.
- Tipo de sitio: planta química, tiradero municipal, lote baldío, etcétera, si se encuentra el sitio en operación o no
- Descripción física del terreno, incluye planos del sitio en los que se ubique a los cuerpos de agua superficiales existentes en el sitio o cercanos, pozos para extracción de agua, asentamientos humanos, características topográficas del sitio, actividades de los predios contiguos
- Descripción de usos: se indican los usos y actividades anteriores y presentes en el sitio, así como el tiempo en que se realizaron dichas actividades
- Descripción de condiciones climáticas en el sitio
- Descripción de las rutas posibles para el transporte de sustancias peligrosas.

Descripción de las instalaciones existentes en el sitio: En este capítulo se describen:

- Las instalaciones existentes en el sitio: dimensiones, ubicación, material de construcción, equipo existente, recipientes (tanques, tambores, contenedores) que contengan o hayan contenido sustancias peligrosas
- Actividades que se realizan y/o se realizaron en cada una de las instalaciones
- Tiempo de funcionamiento
- Las evidencias de deterioro de las estructuras existentes en cada instalación, especialmente aquéllas que pueden atribuirse a las actividades con sustancias y materiales peligrosos
- Evidencias de las actividades que se realizaban en cada instalación: letreros, avisos, rótulos, otras indicaciones.

Información sobre sustancias, materiales y residuos peligrosos: En este capítulo se establece la información sobre las sustancias, materiales y residuos existentes en el sitio:

- Identificación y descripción de la sustancias, materiales y residuos peligrosos presentes en el sitio
- Descripción de las prácticas de disposición de sustancias, materiales y residuos
- Identificación y descripción de las fuentes de sustancias peligrosas
- Ubicación de las fuentes de sustancias peligrosas en un plano del sitio
- Descripción y ubicación de recipientes que contienen sustancias peligrosas
- Descripción y ubicación de los derrames de sustancias o materiales.

Cuando se realizan muestreos en el sitio, como parte de la evaluación detallada, se deberán desarrollar los siguientes aspectos: plan de muestreo de las sustancias, materiales y residuos en el sitio, ubicación de puntos de muestreo, número de muestras, resultados obtenidos para cada punto de muestreo y sustancia identificada de acuerdo a cada fuente o punto.

Información sobre cuerpos de agua superficiales: En este capítulo se describen los cuerpos de agua superficiales existentes dentro del sitio o cercanos y las posibles rutas de escurrimiento en el sitio hasta los cuerpos de agua. Ubicar en un plano y establecer la distancia entre las posibles fuentes de sustancias peligrosas en el sitio y los puntos de entrada al cuerpo de agua. Ubicar en un plano los sistemas de drenaje o tuberías de conducción de las instalaciones en el sitio, establecer la información sobre permisos de descarga e información histórica sobre éstas. Describir cambios en las actividades o usos de los cuerpos de agua (pesca, recreativas, abasto), debido a incidentes con sustancias peligrosas (derrames, vertido intencional, descargas), describir evidencias de contaminación. Revisar cualquier resultado de análisis efectuados a los cuerpos de agua con anterioridad.

Cuando se realizan muestreos y análisis a los cuerpos de agua, como parte de la evaluación detallada, se debe incluir un listado con las muestras y un análisis de los resultados, identificando las concentraciones de sustancias peligrosas en las muestras y que estén presentes en el sitio; identificar la posible exposición de las personas a dichas concentraciones de sustancias peligrosas, así como su efecto en las pescaderías y ambiente sensibles.

Información sobre agua subterránea: Esta sección contiene la siguiente información:

- Descripción de las condiciones geológicas e hidrogeológicas del sitio
- Ubicación y descripción de los pozos para extracción de agua y la distancia existente entre éstos y las fuentes de sustancias peligrosas
- Describir las evidencias de contaminación
- Discusión de cualquier análisis previo realizado a muestras tomadas en los pozos, en caso de existir.

Cuando se realizan muestreos y análisis a los cuerpos de agua subterráneas, como parte de la evaluación detallada, se debe incluir un listado con las muestras y un análisis de los resultados; identificando su ubicación y las concentraciones de sustancias peligrosas en los puntos de muestreo y su relación con las sustancias presentes en la superficie del sitio; identificar los pozos expuestos a sustancias peligrosas y la cantidad presente, identificando la posible exposición de las personas y sus efectos.

Información sobre suelo: En esta sección se deben establecer las sustancias peligrosas en el suelo, su ubicación, extensión y fuente u origen; identificar las áreas que presentan contaminación; describir evidencias de contaminación; identificar y ubicar a las personas que viven o se encuentran en áreas cercanas (predios contiguos, personas que transitan por el sitio) y la posible exposición.

Cuando como parte de la evaluación detallada se realizan en el sitio muestreos de suelo debe presentarse un listado de las sustancias presentes, su ubicación, concentración y el análisis de los resultados.

Información sobre contaminantes en aire: Se debe establecer la existencia de humos o vapores, polvos y olores, identificar las sustancias, ubicación, concentración, sus características peligrosas, niveles de explosividad, y la posible afectación a las personas cercanas al sitio.

Cuando se realizan muestreos de aire se deben indicar los procedimientos y presentar el análisis de resultados, las sustancias detectadas en el sitio, fuente y sus concentraciones.

Resultados y conclusiones: En este capítulo se resumen los principales aspectos relativos al suelo, topografía, cuerpos de agua, etcétera, y su relación con las sustancias, materiales o residuos peligrosos existentes en el sitio; se identifican los posibles objetos de riesgo (población, cuerpos de agua, animales, etc.), así como los caminos o trayectorias que siguen o pueden seguir las sustancias peligrosas. Asimismo, en este capítulo se presenta un análisis de las observaciones realizadas, las conclusiones alcanzadas basadas en las evidencias y, se presenta un resumen de resultados que incluye las sustancias identificadas y sus fuentes, además se establecen recomendaciones para el manejo adecuado del sitio.

Anexo fotográfico: Este anexo incluyen las fotografías en las que se identifican las sustancias, materiales y residuos en el sitio, su ubicación, fuentes, áreas de suelo o vegetación afectadas (evidencias de contaminación), rutas de escurrimiento, ubicación de puntos de muestreo, instalaciones existentes y otros aspectos de interés. Las fotografías deben estar referidas a un plano en el cual se señale su ubicación.

Apéndices: En los apéndices deben incluirse los resultados de los análisis realizados, e información de referencia o complementaria para alguna afirmación contenida o referida en las secciones o capítulos del reporte.

Cuando la evaluación del sitio se realiza a nivel preliminar, no se dispondrá de resultados de análisis químicos y físicos practicados al sitio y otros puntos de interés, por lo cual estos aspectos no podrán desarrollarse en el reporte.

2.3 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO

2.3.1 Introducción

Los suelos se contaminan principalmente a través de las actividades agrícolas por la adición de plaguicidas y fertilizantes, por prácticas ambientalmente inadecuadas de disposición de residuos y por derrames accidentales de sustancias químicas.

La contaminación presente en un suelo está sujeta a una gran variabilidad como son los tipos de contaminantes, sus propiedades físicas y químicas, el cambio de concentración a lo largo de todo el sitio y el tipo de suelo. Otra característica única de los suelos es la lentitud de migración de los contaminantes de un sitio a otro; de manera que un sitio puede volverse a muestrear en una hora o más sin que haya ocurrido un cambio significativo en los contaminantes o sus concentraciones.

Los suelos se caracterizan por diferentes tipos de variación, no son una masa homogénea sino un cuerpo heterogéneo de material. Esta variabilidad debe considerarse cuando se muestrea suelo, de manera que la porción que se va a muestrear debe subdividirse horizontal y verticalmente, dentro del estrato de muestreo que sea lo más homogéneo posible.

Sin embargo, debe reconocerse que el procedimiento de evaluación y restauración de un sitio contaminado es altamente específico para cada sitio en particular, por lo que no es factible establecer un conjunto de lineamientos que sea capaz de cubrir todas las situaciones.

En este capítulo se proporcionan los lineamientos para llevar a cabo la evaluación, el muestreo y el análisis de suelo potencialmente contaminado con sustancias químicas que pueden producir efectos adversos en la salud humana y el ambiente.

2.3.2 Muestreo representativo de suelo

El muestreo representativo de suelo asegura que una muestra o grupo de ellas refleja exactamente la concentración del contaminante de interés en un tiempo dado. Sin embargo, debido a que los suelos son extremadamente complejos y variables frecuentemente requieren diferentes métodos de muestreo.

El personal de campo debe seleccionar los métodos que mejor se acomoden a las necesidades específicas del muestreo y es el responsable de proporcionar las muestras apropiadas para el análisis de laboratorio, del tamaño adecuado y representativas de la población a evaluar.

La acumulación de contaminantes arrastrados por el viento, especialmente los depositados recientemente, se encuentran en la capa superficial de suelo, mientras que los depositados por derrames de líquidos o por acumulación a largo plazo de materiales solubles en agua, se pueden encontrar a varios metros de profundidad. Las plumas que emanan de tambos de residuos peligrosos o fugas de tanques de almacenamiento pueden encontrarse a considerable profundidad.

Algunas muestras se colectan deliberadamente sin ser representativas. Los estudios iniciales en un sitio contaminado se pueden enfocar a las áreas obviamente contaminadas. Aunque tales muestras no representarán las condiciones promedio, pueden establecer las concentraciones de

los compuestos de interés en las zonas más contaminadas. Aún en estas situaciones es importante obtener muestras para determinar condiciones naturales de la matriz de suelo en sitios de control local o de área.

Las muestras compuestas pueden ayudar a superar la falta de homogeneidad en el tiempo o en la distribución de especies químicas. Las muestras compuestas se obtienen de la combinación de porciones de varias muestras simples. La composición se puede hacer simplemente colectando y combinando muestras simples.

Las muestras simples se colectan en un punto específico del sitio en un periodo de tiempo muy corto (típicamente segundos). Generalmente son menos costosas de obtener que las compuestas y se pueden tomar varias muestras simples en el mismo punto en un periodo de tiempo, cuando se desea información relativa a cambios en las concentraciones de contaminantes con el tiempo.

Las técnicas de muestreo compuesto se emplean para obtener una muestra más representativa de matrices heterogéneas, en las cuales las concentraciones de contaminantes pueden variar en periodos de tiempo cortos.

El muestreo compuesto sirve para reducir el costo del análisis cuando se tiene un número grande de muestras. Los costos experimentales disminuyen sustancialmente si se hace muestreo compuesto cuando es baja la frecuencia de muestras individuales que contienen los analitos de interés. En estos experimentos las alícuotas de las muestras individuales se combinan para formar muestras compuestas y cada una de éstas se analiza. Sin embargo, deben considerarse las siguientes limitaciones del muestreo compuesto:

- Cuando se consideran varios analitos en una muestra compuesta, se pierde la información respecto a las relaciones de los analitos en las muestras individuales
- La composición puede diluir el analito a un nivel abajo del límite de detección produciendo un falso negativo
- Si los costos de muestreo son mayores que los costos analíticos puede ser mejor analizar cada muestra individualmente

2.3.2.1 Tipos de muestreo de suelo

Con la información obtenida durante la evaluación preliminar del sitio se puede desarrollar un esquema de muestreo que sea el más apropiado para la situación particular que se quiera estudiar. Un plan de muestreo debe considerar la contaminación original y cómo se han movido los contaminantes con el tiempo. Los principales tipos de muestreo son:

a) Muestreo simple al azar

Este tipo de muestreo se emplea para interpretar los datos de manera estadística. Sin embargo, tiene varias desventajas porque los puntos de muestreo se distribuyen desigualmente dentro del sitio, se requiere un gran número de muestras para proporcionar un alto nivel de confianza y deben tomarse diferentes excavaciones conforme varía la profundidad para que las muestras sean verdaderamente al azar. En el muestreo al azar todos los puntos de muestreo tienen igual oportunidad de ser seleccionados.

b) Muestreo de malla

Es el método más ampliamente usado en el que se colectan las muestras con un patrón regular; la localización de los puntos de muestreo se hace sobre una malla, esto tiene la ventaja de igual distribución en todas las partes del segmento y proporciona mejor o más completa cobertura del área que el muestreo al azar.

c) Muestreo a juicio

En este tipo de muestreo no existe un patrón organizado y específico. Los sitios de muestreo se seleccionan únicamente a criterio, siendo entonces que la predisposición o preferencia de quien diseña el muestreo se vuelve dominante en la selección de puntos. Este método puede ser útil usándolo en conjunto con otros métodos cuando se tiene excelente conocimiento del sitio y se sospecha que hay contaminación significativa presente.

2.3.2.2 Selección de los sitios de muestreo

El muestreo de suelo debe llevarse a cabo en todas las áreas potencialmente contaminadas que se identificaron durante la evaluación preliminar, estableciendo un número suficiente de puntos de muestreo para delinear claramente cada una de estas áreas, también se necesita muestrear en áreas donde no se sospecha contaminación. La profundidad del muestreo dependerá de la naturaleza de la fuente de contaminación (subterránea o superficial), de la estratigrafía del suelo y textura (arena o arcilla) y del tipo de contaminante (móvil o no móvil), pero el muestreo debe extenderse más allá de la zona contaminada.

Una vez que se decide el esquema de muestreo el siguiente paso es seleccionar los puntos de muestreo. Para el esquema estadístico, la selección del sitio exacto de cada punto de muestreo es crucial para lograr representatividad, pudiendo influir por ejemplo, la dificultad en la colección de una muestra en un punto dado, la presencia de vegetación o la decoloración del suelo.

Los puntos de muestreo se localizan usando varios métodos. Uno relativamente simple para ubicar puntos al azar, consiste en medir con un compás y una cinta métrica o bien a pasos para ubicar estos puntos con respecto a una marca relativamente permanente. Durante la colección de la muestra en campo, se marcan los puntos de muestreo para futuras referencias. Adicionalmente, empleando las coordenadas de los puntos de muestreo, se integra el mapa correspondiente.

2.3.2.3 Muestreo en pilas de materiales

En algunas situaciones es necesario muestrear grandes pilas de materiales. En estos casos pueden presentarse problemas con respecto a la obtención de muestras representativas debido a la dificultad de obtener otras muestras, además de las superficiales, y a que algunos materiales se separan en fracciones finas y gruesas cuando están apilados. Por lo tanto, probablemente las tomadas en la superficie no sean representativas. La mejor manera es tomar muestras compuestas, para ello deben tomarse suficientes muestras a diferentes profundidades para caracterizar el

perfil de profundidad y la variación espacial lateral de las sustancias de interés dentro de la pila. Los puntos se seleccionan al azar, con excepción de aquellos en que se sospecha existe la mayor concentración de contaminantes, los cuales forzosamente deben muestrearse.

2.3.2.4 *Selección de sitios de control*

Los sitios de control son importantes porque sirven para demostrar si el lugar en estudio está contaminado y/o tiene concentraciones de contaminantes diferentes a las concentraciones naturales. Deben seleccionarse con características comunes a las áreas contaminadas.

Las muestras tomadas en los sitios de control se deben colectar y analizar bajo las mismas condiciones de las muestras del lugar, para que la concentración de los contaminantes de interés y los efectos de la matriz sobre los análisis se puedan estimar con un grado aceptable de certidumbre. Cuando se tienen contenedores o tambores con materiales potencialmente peligrosos no deben colectarse muestras para determinar concentraciones naturales; estas muestras solamente son necesarias si se sospecha que hay fuga de los contenedores que están contaminando el suelo y/o el agua alrededor de ellos.

Existen dos tipos de sitios de control: local y de área, la diferencia se basa en la cercanía de éstos con el sitio de estudio.

Los sitios de control local están adyacentes o muy cerca de los puntos de muestreo y se deben considerar los siguientes principios para su selección:

- Deben estar viento arriba, corriente arriba o pendiente arriba del punto de muestreo
- Cuando sea posible, las muestras del sitio de control local deben tomarse primero para evitar contaminación a partir del lugar de muestreo
- Se deben minimizar los viajes entre los sitios de control y de muestreo para reducir la contaminación potencial causada por las personas, equipo y vehículos

Un sitio de control de área está en la misma zona del punto de muestreo, por ejemplo en la misma ciudad pero no adyacente a él. Para su selección se consideran los mismos factores que para los sitios de control local; en general se prefieren estos últimos porque están físicamente cercanos, y los de área sólo se recomiendan cuando no se puede encontrar uno local.

2.3.2.5 *Recomendaciones generales para documentar el muestreo*

Las muestras se deben registrar en campo anotando los siguientes datos:

- Localización del sitio de muestreo
- Número de identificación de la muestra
- Profundidad del muestreo
- Fecha de muestreo

2.3.2.6 Profundidad del muestreo en suelo

El muestreo de suelo se debe hacer para establecer la distribución horizontal de la contaminación y su posible migración vertical. Para lo cual se deben tomar muestras de suelo superficial y en perfiles de suelo, es decir muestreo vertical.

La profundidad a la cual se deben tomar las muestras depende de la variabilidad de los materiales encontrados y del nivel de detalle requerido. Las perforaciones pueden pasar a través de varias capas individuales de diferente material las cuales representan diferentes segmentos y al menos se debe tomar una muestra de cada segmento encontrado. Los segmentos que se extienden a la misma profundidad requieren varias muestras tomadas a diferentes niveles.

Se recomienda un mínimo de tres muestras en cada excavación, una en la superficie, una a la mayor profundidad y una en un punto al azar entre las dos. Lo más costoso de la evaluación es el muestreo a varias profundidades, una vez que se excava hay que tomar suficientes muestras, ya que es relativamente barato el análisis subsecuente comparado con el costo de excavación.

En general la profundidad del muestreo está limitada por la existencia de roca firme o la zona de saturación de agua.

2.3.2.7 Tamaño de las muestras

Debido a que se usan varias técnicas analíticas para determinar diversas sustancias químicas, se deben tomar muestras suficientemente grandes para los diferentes análisis. Esto permite también a los laboratorios analizar muestras por duplicado o volver a analizar una muestra si se duda de un resultado.

Cada método analítico requiere un tamaño específico de muestra y la forma apropiada de colectarla; sin embargo, se puede colectar una muestra simple y usarla para determinar diferentes analitos.

2.3.2.8 Número de muestras

El número de muestras a tomar en un sitio presumiblemente contaminado está en función de la superficie del terreno. En nuestro país la norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 *Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación* establece como puntos mínimos de muestreo para el caso de contaminación por hidrocarburos los mostrados en la tabla 2.21.

:

Tabla. 2.21 Número de puntos de muestreo para determinación de hidrocarburos en suelo

Área contaminada (ha)	Puntos de muestreo
Hasta 0.1	4
0.2	8
0.3	12
0.4	14
0.5	15
0.6	16
0.7	17
0.8	18
0.9	19
1.0	20
2.0	25
3.0	27
4.0	30
5.0	33
10.0	38
15.0	40
20.0	45
30.0	50
40.0	53
50.0	55
100.0	60

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

El proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 *Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio* establece un número mínimo de muestras para sitios que se considere contaminados con metales pesados de acuerdo a la superficie del sitio, los cuales se presentan en la tabla.2.22

Tabla 2.22 Número de puntos de muestreo para determinación de metales en suelo

Área contaminada (ha)	Número mínimo de muestras superficiales	Número mínimo de pozos verticales
Hasta 0.1	6	1
0.2	7	1
0.3	8	2
0.4	9	2
0.5	10	2
0.6	10	2
0.7	11	2
0.8	11	2
0.9	11	2
1	12	2
2	14	3
3	16	3
4	18	4
5	19	4
6	20	4
7	21	4
8	22	4
9	23	5
10	23	5
15	26	5
20	29	6
> 30	33	6

PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

La selección de los métodos analíticos es parte importante del proceso de planeación del muestreo e influye en gran medida en los protocolos de muestreo, también puede afectar la selección de los contenedores de almacenamiento y las técnicas de preservación. Por ejemplo, la sensibilidad del método analítico influye en el volumen de muestra requerido para medir contaminantes a niveles de detección mínimos.

2.3.2.9 Equipo de muestreo

Los métodos de muestreo de suelos pueden diferir en algunos detalles, pero todos usan uno de los siguientes tres equipos básicos: pala de mano, taladro o dispositivo para obtener núcleos.

Se deben tomar en cuenta dos consideraciones principales cuando se selecciona un equipo de muestreo específico: las condiciones del suelo y los contaminantes que se van a analizar a partir del material colectado. Las condiciones del suelo pueden ser extremadamente variables de un sitio a otro. Por ejemplo, los suelos pueden ser húmedos o secos, pedregosos, cohesivos (por ejemplo arcilla) o menos cohesivos (por ejemplo, arena). Similarmente, los contaminantes son muy diversos variando entre metales, los cuales en muchos casos son relativamente inmóviles, pasando por sustancias solubles en agua que son muy móviles, hasta contaminantes que son volátiles.

El uso y selección inapropiada del equipo de muestreo pueden dar por resultado datos que no son representativos del suelo que se está estudiando. Los resultados basados en experiencia previa o a partir de una prueba equivalente pueden usarse para seleccionar el equipo apropiado para un objetivo de muestreo específico. La tabla 2.23 proporciona una lista de los equipos de muestreo de suelo comúnmente usados.

El equipo se debe seleccionar después de considerar la profundidad a la que se va a tomar la muestra, las características del suelo y la naturaleza del contaminante (orgánico o inorgánico, volátil o no volátil). El muestreo superficial se recomienda para derrames o contaminación reciente y para velocidades de migración bajas. Si los contaminantes son volátiles o han estado en contacto con el suelo por un largo periodo de tiempo, se recomienda muestrear a mayores profundidades.

Tabla 2.23 Equipo para muestreo de suelo

Equipo	Aplicación	Ventajas y desventajas
Probador (en inglés, Trier)	Suelo superficial suave	Barato; fácil de usar y descontaminar; difícil de usar en suelos rocosos, secos o en arena
Pala o cuchara	Suelo superficial suave	Barato; fácil de usar y descontaminar; deben evitarse cucharas con superficies pintadas
Sembrador de bulbos de tulipán	Suelo suave 0-15 cm	Fácil de usar y descontaminar; diámetro y volumen de muestra uniforme; conserva el núcleo de suelo (adecuado para compuestos orgánicos volátiles y muestras sin alterar) capacidad de profundidad limitada; no es útil para suelos duros
Dispositivo para obtener núcleos de suelo	Suelo suave 0-60 cm	Relativamente fácil de usar; conserva los núcleos de suelo (adecuado para compuestos orgánicos volátiles y muestras sin alterar) capacidad de profundidad limitada; difícil de descontaminar
Muestreador de cuchara	Suelo 0 cm-lecho de roca	Excelente intervalo de profundidad; conserva el núcleo de suelo (adecuado para compuestos volátiles y muestras sin alterar) se puede usar una cubierta de acetato para ayudar a mantener la integridad de las muestras para compuestos volátiles; útil para suelos duros; se puede usar junto con una plataforma de perforación para obtener núcleos más profundos
Muestreador de tubo de pared delgada (tubo shelby)	Suelo suave y duro como arenas y gravas 0 cm-lecho de roca	Excelente intervalo de profundidad; conserva el núcleo de suelo (adecuado para compuestos volátiles y muestras sin alterar); el tubo se puede usar para enviar la muestra al laboratorio sin alterar; se puede usar junto con una plataforma de perforación para obtener núcleos más profundos; no es durable en suelos rocosos
Taladro eléctrico de operación manual	Suelo 15 cm-5 m	Buen intervalo de profundidad, generalmente se usa junto con un taladro para colectar la muestra; destruye el núcleo de suelo (inadecuado para compuestos volátiles y muestras inalteradas); requiere dos o más operadores; puede ser difícil de descontaminar; el motor de gasolina es potencial de contaminación

CCME, 1993

Las características del suelo y la naturaleza de los contaminantes determinarán los patrones de migración de las sustancias, el equipo de muestreo a usar y sus características, como son los materiales de que está construido y la profundidad del muestreo.

Para muestreo superficial o poco profundo, de 15 a 30 cm, se pueden usar cucharas o palas, aunque no se obtienen muestras muy similares. Estas herramientas no son recomendables para suelos contaminados con compuestos volátiles, ya que se pueden volatilizar durante el muestreo y obtener muestras no representativas. Generalmente los cucharones y palas deben ser de acero inoxidable para suelos contaminados con compuestos orgánicos, y de polietileno de alta densidad para el caso de especies inorgánicas.

Para obtener muestras reproducibles en suelo superficial o poco profundo, es adecuado usar un punzón o sacabocado u otro dispositivo de tubo de acero de pared delgada, los cuales se introducen en el suelo a la profundidad deseada y queda retenida la muestra, después ésta se transfiere a un contenedor o bien algunos muestreadores de tubo están diseñados para transportar en ellos las muestras sellando los extremos del tubo.

El muestreo a profundidades mayores a 30 cm requiere diferentes técnicas y dispositivos. Haciendo trincheras se pueden obtener perfiles de suelo y con esto de los contaminantes, aunque generalmente es más caro que otras técnicas. Las trincheras se deben excavar aproximadamente

a 30 cm más que la profundidad de muestreo deseada. Después se usa un perforador de suelo para excavar lateralmente y obtener la muestra.

Los taladros eléctricos o manuales también son útiles para obtener muestras a mayor profundidad de 30 cm. Existen diferentes tamaños de taladros y las muestras se pueden obtener directamente a partir de los cortes del taladro. Sin embargo, puede presentarse contaminación cruzada entre capas de suelo, contaminación por el material de corte, no reproducibilidad en el tamaño de muestra y pérdida de componentes volátiles. Una técnica más recomendable es llegar hasta la profundidad deseada con un taladro y luego obtener la muestra con una sonda para suelo. Los cortes deben removerse con cuidado después de la perforación para evitar contaminación cruzada entre capas de suelo. Estos equipos se colocan dentro del suelo a la profundidad requerida y retienen la muestra conforme se retiran, después ésta se transfiere a un contenedor y se envía al laboratorio.

Durante todo el muestreo y el manejo de las muestras se deben tener cuidado para prevenir contaminación cruzada. También debe tenerse cuidado al ademar y con el lodo residual producto de la perforación para evitar contaminación de las muestras. El equipo se debe limpiar cuidadosamente entre sitios y se deben usar contenedores limpios y apropiados. Es aconsejable avanzar en el muestreo del sitio menos contaminado a los más contaminados para minimizar el potencial de contaminación cruzada.

2.3.2.10 Preservación y almacenamiento de la muestra

En la tabla 2.24 se muestran los materiales apropiados de los recipientes para diferentes clases de compuestos, así como algunos procedimientos que deben seguirse.

Tabla 2.24 Contenedores para muestras de suelo

Grupo de compuestos	Contenedor	Comentarios
Inorgánicos	Plástico, vidrio	
Orgánicos volátiles	Vidrio, de preferencia viales con tapas de septum de teflón	Mantener frío (<4 °C) en campo
Hidrocarburos poliaromáticos y nitrosaminas	Vidrio color ámbar, enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón u hoja de metal	En campo mantener frío a <10 °C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar
Ftalatos	Vidrio enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón	En campo mantener frío a <10 °C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar. No poner en contacto con plásticos durante el muestreo
Otros compuestos orgánicos	Vidrio enjuagado con solvente, tapas forradas de teflón	En campo mantener frío a <10 °C y no exponer a la luz. Refrigerar para almacenar

(OMEE, 1994)

En general, los contenedores de muestras se deben sellar tan rápido como sea posible después de tomar la muestra, el espacio libre debe minimizarse y refrigerarse inmediatamente. Se recomienda mantener las temperaturas de refrigeración menores a 4°C hasta el análisis. Como temperaturas ligeramente superiores a 4 °C por periodos cortos de tiempo son poco probables de afectar significativamente la calidad de la muestra, la máxima temperatura permitida se establece

en 10 °C. Los análisis de compuestos orgánicos deben hacerse lo más rápido posible después de colectar la muestra. Las muestras no se deben almacenar indefinidamente para el análisis de estos compuestos.

Si se requiere extracción o digestión con ácido se debe hacer lo antes posible, después los extractos o soluciones digeridas se pueden guardar los tiempos de almacenamiento establecidos en las normas correspondientes de acuerdo al contaminante. Las muestras de núcleos enteros de suelo, o porciones grandes de ellos, se deben enviar al laboratorio envueltas en papel aluminio lavado con solvente y seco o selladas en botellas de vidrio. Para muestras de núcleos son útiles las botellas de medio litro de boca ancha.

Los cambios más frecuentes en muestras de suelo, sedimento y agua son pérdida de compuestos volátiles por evaporación, biodegradación, oxidación y reducción. Las temperaturas bajas reducen la biodegradación y algunas veces la pérdida de compuestos volátiles, pero el congelamiento en muestras de suelo que contienen agua puede causar pérdida de gases, fractura de la muestra o separación de una fase ligeramente inmiscible. Las muestras en condiciones anaerobias no se deben exponer al aire. El secado con aire es apropiado para metales y otros analitos no volátiles, pero no se recomienda si están presentes en el suelo compuestos orgánicos volátiles, ya que puede haber pérdida de estos compuestos por evaporación si se somete a secado con aire.

2.3.2.11 Preparación de la muestra

Para análisis de compuestos inorgánicos

Las muestras se deben esparcir en charolas no metálicas en ambiente libre de polvo y secarse al aire por 48 horas o hasta que no haya signos evidentes de humedad. Alternativamente se puede tomar una submuestra de una muestra bien mezclada y determinar su humedad por secado en horno para reportar los resultados en peso base seca. Después la muestra se disgrega con un mortero y se tamiza a través de una malla de 2 mm. La fracción mayor a 2 mm se desecha. Después se muele una fracción de la submuestra de menos de 2 mm hasta que pasa toda por un tamiz de 355 mm. La fracción menor de 355 mm se usa para todos los análisis de compuestos inorgánicos excepto para la relación de adsorción de sodio, conductividad eléctrica y boro extraído con agua caliente, para los cuales se usa la fracción menor de 2 mm.

Los materiales parecidos al suelo se tratan igual, excepto que la muestra completa se muele para pasar por una malla de 355 mm y todas las pruebas se hacen con la fracción menor de 355 mm.

Las rocas y materiales parecidos a éstas se deben moler o triturar para pasar por una malla de 2 mm. Para análisis se toma una submuestra a partir de la muestra bien mezclada.

Para análisis de compuestos orgánicos

Para análisis de compuestos orgánicos el suelo ni se tamiza ni se seca, ya que estas operaciones podrían ocasionar la pérdida o remoción de algunos compuestos de interés. En lugar de esto, se toma una submuestra de la muestra bien mezclada y se determina su humedad. Este valor se usa para calcular los resultados analíticos en peso base seca. Al tomar una submuestra para análisis de compuestos orgánicos se debe evitar incluir piedras o material de cascajo, porque podría sesgar los resultados debido a su desproporcionado peso en la pequeña submuestra.

Las muestras deben permanecer selladas y enfriadas a < 4 °C hasta que se analicen. Si se requiere molienda, porque se sospecha que hay esquistos que contienen compuestos orgánicos volátiles (COV's), se debe resellar inmediatamente después de molerla.

2.3.3 Tipos de contaminantes más comunes en el suelo

Algunos de los contaminantes más comunes en el suelo son los hidrocarburos de petróleo debido a que ocurren muchos derrames o se vierten accidentalmente durante las operaciones de extracción, refinación, transferencia y comercialización de estos productos, razón por la cual frecuentemente se encuentran suelos contaminados con petróleo, combustóleo, gasolinas, diesel y turbosina. En sitios donde se realizan actividades petroquímicas o existe almacenamiento de este tipo de combustibles es importante determinar la presencia de hidrocarburos totales de petróleo (HTP), hidrocarburos de fracción pesada, hidrocarburos de fracción media e hidrocarburos de fracción ligera, hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) tales como benzo[a]pireno, dibenzo[a]antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno e indeno(1,2,3-cd)pireno y por último benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX).

De acuerdo con las estadísticas sobre accidentes que involucran sustancias químicas peligrosas los hidrocarburos del petróleo están involucrados en el 45.56% de los accidentes. Las principales sustancias químicas involucradas en emergencias ambientales según datos de PROFEPA, 2004, son petróleo crudo, diesel, gasolina, lodos de perforación, combustoleo, aguas aceitosas, aguas congénitas, amoniaco, gas natural y ácido sulfúrico.

Otra forma común de contaminación del suelo es por compuestos orgánicos volátiles (COV´s), debido a que la mayoría de los procesos de manufactura, desde las industrias de tecnología avanzada hasta los talleres de reparación y establecimientos de limpieza en seco, utilizan algún tipo de solvente halogenado, en especial clorado, con propósitos de lavado o desengrasado, de manera que es muy posible encontrar suelos contaminados con compuestos como tricloroetileno, percloroetileno, tetracloruro de carbono, etc.

La disposición de compuestos inorgánicos en los suelos, es otro caso de contaminación por desechos peligrosos y actividades específicas como la minería y el recubrimiento de metales, siendo de gran importancia determinar la presencia en suelo de metales como el plomo, mercurio, cadmio, cromo, arsénico, níquel, berilio, selenio, talio y vanadio, en los sitios donde se han llevado a cabo este tipo de actividades, ya que son metales muy tóxicos para la salud humana.

En las áreas donde se realizan actividades agrícolas resulta de interés estudiar la presencia de contaminación por plaguicidas en especial organoclorados y organofosforados, en virtud de que son sustancias muy tóxicas tanto para la salud humana como para los animales.

Otro tipo de contaminantes específicos a determinar en suelos dependerá de las actividades que se realicen actualmente en el sitio o bien que se hayan realizado en el pasado las cuales se establezcan en la evaluación preliminar. Asimismo, en los lugares donde haya ocurrido un accidente durante el transporte de sustancias peligrosas en los cuales se presentó derrame del material y se haya identificado la sustancia será el contaminante a determinar.

2.3.4 Límites máximos permisibles de contaminantes en suelo

Después que se lleva a cabo la toma de muestras de suelo y se analizan en el laboratorio para determinar las concentraciones de los contaminantes presentes, éstas deben compararse con las concentraciones o límites máximos permisibles establecidos por la autoridad ambiental, es decir la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Si las concentraciones encontradas en el suelo son superiores a las permitidas será necesario llevar a cabo un proceso de restauración del suelo, con la finalidad de eliminar los contaminantes presentes en el sitio. Esta restauración debe ser llevada a cabo por el propietario del sitio o el responsable de la contaminación, y la autoridad que exige el cumplimiento de esta actividad y la supervisa es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Hasta la fecha en México solo existe una norma oficial que establece las concentraciones máximas permitidas de hidrocarburos en suelo y está en revisión un proyecto de norma oficial para concentraciones máximas de metales pesados en suelo. Estas normas son NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 *Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación* y el proyecto de norma PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 *Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio.*

De acuerdo con estas normas en las tablas 2.25, 2.26 y 2.27 se presentan los valores permitidos para dichos contaminantes.

Tabla 2.25 Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo

Fracción de hidrocarburos	Uso de suelo predominante (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola	Residencial	Industrial	
Ligera	200	200	500	Cromatografía de gases
Media	1,200	1,200	5,000	Cromatografía de gases
Pesada	3,000	3,000	6,000	Gravimétrico

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003

Tabla 2.26 Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en suelo

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante (mg/kg base seca)			Método analítico
	Agrícola	Residencial	Industrial	
Benceno	6	6	15	Cromatografía de gases
Tolueno	40	40	100	Cromatografía de gases
Etilbenceno	10	10	25	Cromatografía de gases
Xilenos	40	40	100	Cromatografía de gases
Benzo[a]pireno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Dibenzo[a,h]antraceno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Benzo[a]antraceno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Benzo[b]fluoranteno	2	2	10	HPLC ó CG-MS
Benzo[k]fluoranteno	8	8	80	HPLC ó CG-MS
Indeno(1,2,3-cd)pireno	2	2	10	HPLC ó CG-MS

NOM-138-SEMARNAT/SS-2003
HPLC Cromatografía de líquidos de alta resolución
CG-MS Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas

Tabla 2.27 Concentraciones de referencia totales (CR_T) para metales por tipo de uso de suelo

Contaminante	Uso agrícola/residencial (mg/Kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	550	7200

Nota:
a. En caso de que se presenten diversos usos del suelo en un sitio, debe considerarse el uso que predomine.
b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos de suelo, se usará el valor residencial.

PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

Se define como concentración de referencia total (CR_T) a la masa del elemento químico regulado por unidad de masa del suelo en estudio, por encima de la cual se considera existe riesgo de que se generen efectos adversos para la salud, es decir es el límite máximo permisible del contaminante en el suelo y dependerá del uso de suelo la concentración establecida.

2.4 EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

2.4.1 Introducción

Después de realizar la evaluación preliminar del sitio contaminado y llegar a la conclusión de que el cuerpo de agua superficial o subterránea debe ser evaluado en forma detallada, es necesario tomar en consideración la complejidad que representa la evaluación de cuerpos de agua contaminados, debido en gran medida a los asentamientos humanos que se han desarrollado en las márgenes de los ríos y arroyos o cualquier tipo de cuerpo acuático, con el fin de satisfacer sus necesidades más elementales. Con la revolución industrial y la explosión demográfica, la demanda de agua potable ha aumentado y por lo tanto, las ciudades e industrias se han visto en la necesidad de retornar las aguas residuales a las fuentes de abastecimiento (ríos y lagos).

Como consecuencia de lo anterior, los riesgos a la salud por la presencia de sustancias tóxicas y microorganismos patógenos en los cuerpos de agua, se incrementan ya que la población utiliza esta agua para consumo humano, para riego de sus parcelas y como abrevaderos del ganado. Por tal motivo, es necesario realizar un estudio integral para evaluar el grado de deterioro ambiental en los diferentes sistemas acuáticos y determinar las causas de contaminación en cada caso para proponer alternativas de solución viables.

2.4.2 Legislación en México y programas gubernamentales

La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología emitió el 28 de enero de 1988, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación; esta ley se refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la protección al ambiente en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Esta Ley presenta los criterios que se deben considerar para el control de la contaminación por descargas residuales a los cuerpos de agua, los cuales establecen el cumplimiento de las Normas Técnicas Ecológicas (actualmente Normas Oficiales Mexicanas) y el establecimiento de condiciones particulares de descarga a las que estarán sujetas dichas descargas a los diferentes cuerpos acuáticos o captadas por sistema de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan sus aguas en cuencas o corrientes de agua de propiedad nacional.

La Ley de Aguas Nacionales modificada en abril de 2004 por la Comisión Nacional del Agua, en su capítulo siete establece lo relacionado a la prevención y control de la contaminación de las aguas y su responsabilidad por daño ambiental; está constituido por 14 artículos referentes al monitoreo, vigilancia y control de las descargas a los cuerpos receptores.

2.4.3 Determinación de las causas de la contaminación de los sistemas acuáticos

Las causas más importantes de la contaminación de los cuerpos de agua superficiales se deben a las actividades antropogénicas como son: descargas industriales, municipales, agrícolas y ganaderas. Dichas actividades aportan grandes concentraciones de materia orgánica y sustancias potencialmente tóxicas.

De esta manera se van acumulando sustancias químicas en el sistema, con el consecuente deterioro en la calidad del agua y la degradación del ecosistema, por lo cual es necesario realizar un estudio específico de las descargas presentes en el cuerpo receptor de interés y determinar cuáles son las causas de contaminación más importantes y el tipo de residuos que se estén aportando al sistema acuático.

Para cuerpos de agua superficial, se requiere el análisis gradiente arriba de la fuente de contaminación y el análisis gradiente abajo de todos los puntos de exposición posibles (especial atención con los puntos donde el agua se utiliza para consumo humano, recreación, limpieza de ropa, etc.). Cuando en el sitio en estudio se realizan o realizaron actividades industriales es esencial conocer el proceso y los aspectos químicos de cualquier actividad de manufactura, para determinar la materia prima, productos, subproductos y residuos que pudieron haber estado involucrados.

En la figura 2.1 se muestra un diagrama de flujo en el cual se proponen los lineamientos a seguir para determinar las causas de contaminación del cuerpo receptor, así como una pequeña explicación de cada paso.

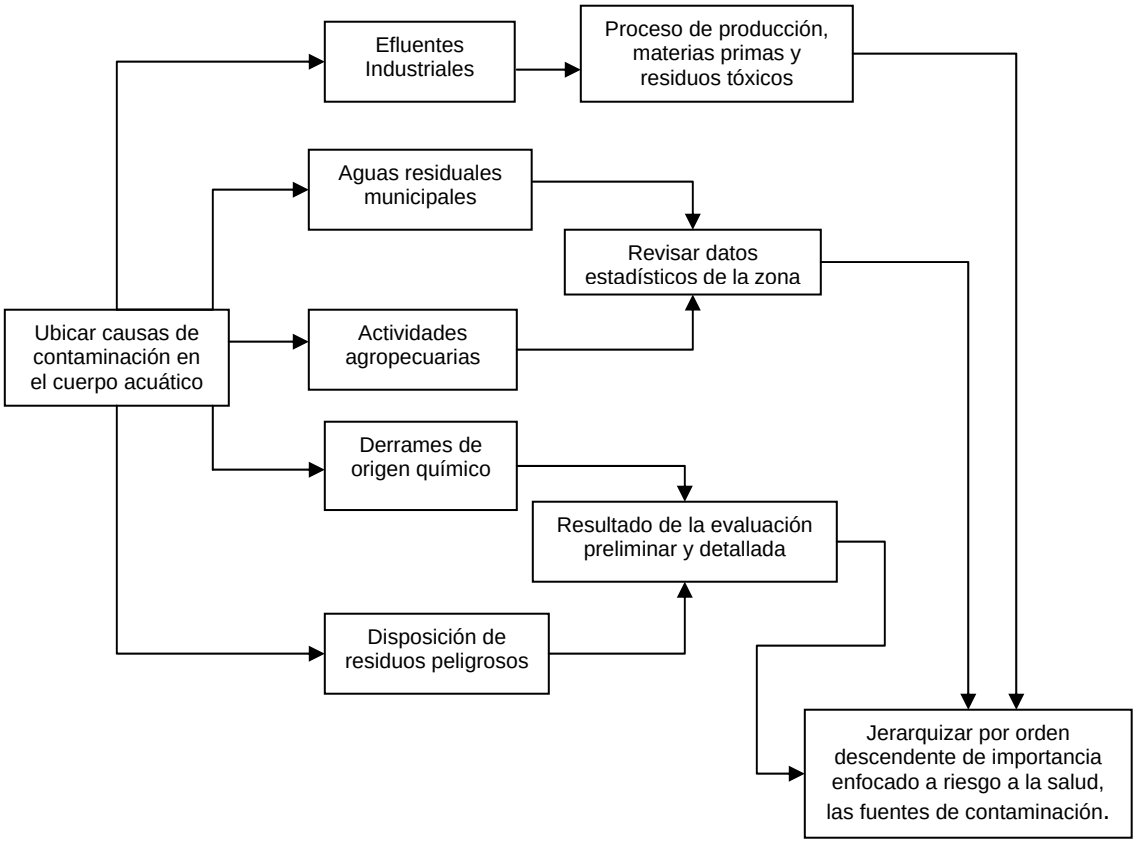


Fig. 2.1 Diagrama de flujo para determinar las causas de contaminación de un cuerpo receptor

2.4.3.1 Inventario y ubicación de descargas

El Inventario y la ubicación de descargas al cuerpo de agua es el primer paso para determinar las fuentes de contaminación; posteriormente es necesario realizar un análisis de las descargas. Dicha información se puede obtener de la Comisión Nacional del Agua, ya que es el organismo que se dedica a la reglamentación del uso del agua y descarga a cuerpos receptores.

2.4.3.2 Análisis de las descargas

Es conveniente analizar las descargas industriales, el tipo de materias primas y los procesos de producción; esta información indica la importancia de las descargas y las posibles sustancias tóxicas que pudieran estar involucradas en el proceso de contaminación del cuerpo de agua superficial.

Por otra parte es importante realizar una buena caracterización de las descargas por medio del muestreo y medición de caudales de las aguas residuales, ya que con esta información se pueden determinar las concentraciones que aportan las descargas. Para obtener información confiable se requieren mediciones continuas del caudal diariamente durante mínimo 1 año y el muestreo se debe realizar en forma continua durante un intervalo de tiempo dado, o bien con la composición de varias muestras puntuales tomadas a cierto tiempo, la información obtenida se debe comparar con las Normas Oficiales Mexicanas para cada tipo de descarga identificada, estas Normas se pueden consultar en la página http://www.economia-noms.gob.mx/.

2.4.3.3 Fuentes de contaminación más importantes

La lista de fuentes de contaminación se debe de ordenar en forma descendente de acuerdo a su impacto contaminante, tomando en cuenta el volumen, concentración de DBO y toxicidad de las aguas residuales que se descargan al ecosistema. También es necesario analizar los drenes de actividades agrícolas que desembocan al cuerpo receptor, ya que en el arrastre hay aporte de nutrientes (fosfatos y nitratos) y residuos de plaguicidas, así como la actividad ganadera, debido al aporte de materia orgánica procedente de los desechos que generan.

2.4.4 Evaluación del grado de contaminación de un cuerpo receptor

La metodología de la evaluación de contaminación de un cuerpo de agua, se lleva a cabo mediante la investigación y análisis del ecosistema en sus diferentes aspectos como son: análisis fisicoquímico, análisis toxicológicos, indicadores de eutroficación o enriquecimiento de nutrientes, estudios biológicos, hidrológicos y climatológicos (fig. 2.2). Es importante esta fase ya que con estos estudios se realiza el diagnóstico del grado de peligro que representa a la población el cuerpo de agua.

Los estudios y análisis que se proponen realizar se pueden aplicar para cualquier sistema acuático, además se pueden omitir algunos o integrar otros estudios que se crea convenientes, dependiendo del cuerpo de agua que se desee investigar, ya que existen diferencias entre un río a un lago. Por ejemplo, en el cauce se debe estudiar el aspecto hidrológico, ya que es importante conocer la velocidad de la corriente, el caudal, etc.; por el contrario, para un lago es necesario conocer la estratificación, grado de eutroficación, la distribución del plancton, dinámica poblacional de las especies más sensibles, etc.

2.4.4.1 Análisis fisicoquímico

El monitoreo continuo para el análisis fisicoquímico de los cuerpos de agua superficiales es importante dado que, las características fisicoquímicas del agua se modifican dependiendo del tipo y concentración de contaminantes que se encuentren en el cuerpo receptor. El análisis en tiempo y espacio permite conocer las tendencias y comportamiento de los parámetros físicos y químicos del agua. Dentro de los parámetros más importantes que se deben de tomar en cuenta son: oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, grasas y aceites, fosfatos, turbiedad, coliformes fecales y totales, potencial de iones hidrógeno (pH), color, conductividad, dureza total, sólidos suspendidos y sólidos totales. La Comisión Nacional del Agua (CNA) obtiene la clasificación de la calidad del agua con dos parámetros, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) a 5 días y demanda química de oxígeno (DQO), esta información se puede obtener de la página http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio, aquí también se presenta la calidad del agua a nivel nacional y regional para ambos parámetros.

Con la información obtenida del análisis detallado del sitio contaminado y el análisis de las causas de contaminación, se puede saber qué tipo de contaminantes se deben buscar de forma específica en el cuerpo de agua, generalmente se trata de sustancias tóxicas persistentes en el ambiente, (que permanecen por mucho tiempo y no se degradan fácilmente) como son metales pesados (mercurio, plomo, cadmio, arsénico, aluminio etc.,), compuestos organoclorados, plaguicidas, hidrocarburos etc., dichos contaminantes requieren de una estrategia para el muestreo y análisis de agua y sedimentos, sobre todo si el agua es para consumo humano.

Es importante que la colecta de muestras considere los periodos estacionales, esto es, épocas de lluvias y de secas (estiaje). Es muy importante contar con información sobre el pH. Siempre que se analice un cuerpo de agua superficial, se deberá obtener información de los sedimentos. Se deben tomar muestras simples y superficiales (0-5 cm.), gradiente arriba y gradiente abajo, en los puntos de exposición humana. Se deben plantear dos interrogantes cuando exista contaminación de agua superficial: ¿los individuos se alimentan de fauna acuática en este sitio? ¿El contaminante se bio-concentra y/o bio-magnifica?

Las aguas generalmente son muy heterogéneas tanto espacial como temporalmente, lo que hace difícil obtener muestras representativas. Los sólidos con gravedades específicas mayores que la del agua normalmente son sustancias inorgánicas, las cuales permanecen suspendidas en el flujo y forman estratos en canales que fluyen lentamente. Los aceites y sólidos más ligeros que el agua (como compuestos orgánicos) flotan sobre o cerca de la superficie. Algunos compuestos orgánicos halogenados son más pesados que el agua y se hunden quedando en el fondo. La composición química de lagos y lagunas también varía dependiendo de la estación del año. La composición de las aguas que fluyen en ríos depende del flujo y de la profundidad.

La estratificación dentro de algunos cuerpos de agua es común. En lagos con profundidad menor de 5 m la acción del viento generalmente ocasiona mezclado, de manera que no es probable que se presente estratificación térmica ni química por periodos prolongados; sin embargo, ambos fenómenos pueden existir en lagos más profundos. Ríos poco profundos de cauce rápido no muestran estratificación química o térmica, pero los ríos profundos pueden exhibir ambas. La estratificación también puede existir en lugares donde se unen dos corrientes, como el punto donde un efluente entra en un río, dependiendo de la profundidad.

Muestreo de agua superficial

Las siguientes recomendaciones son de aplicación general para la colección de muestras representativas de agua:

- No incluir partículas grandes no homogéneas en la muestra, tal como hojas y detritus.
- En aguas que fluyen, colocar el aparato de muestreo corriente arriba para evitar contaminación y para que el personal de muestreo pueda observar si viene algún material flotando que pueda contaminar la muestra.
- Colectar un volumen suficiente de agua para permitir repetir los análisis y pruebas de control de calidad. Si no está especificado, el volumen básico requerido es la suma de los volúmenes para los análisis de todos los parámetros de interés.

a) Colección de muestras representativas a partir de ríos y corrientes

Para desarrollar el plan de muestreo de agua superficial deben considerarse los tipos y ubicación de los cuerpos de agua cercanos al sitio y la persistencia de las sustancias peligrosas y la rapidez de flujo, ya que flujos de alto volumen tienden a dispersar y diluir sustancias peligrosas más rápido que flujos de bajo volumen.

Para sitios de muestreo localizados en una extensión de un río o una corriente no homogénea es necesario muestrear la sección transversal del canal en un número específico de puntos y profundidades. El número y tipo de muestras dependerá de la profundidad, ancho y descarga; la cantidad de sedimento suspendido que se está transportando; y la vida acuática presente, generalmente son suficientes de 3 a 5 puntos de muestreo vertical y son necesarios menos para corrientes angostas y poco profundas. Para corrientes pequeñas se toma una muestra simple en el centroide del flujo y se debe colocar aproximadamente al 60% de la profundidad de la corriente en un área de máxima turbulencia.

b) Selección de los sitios de muestreo

Para obtener muestras de agua representativas es importante el uso de técnicas de muestreo apropiadas, ya que en campo existen varias situaciones que requieren diferentes técnicas de muestreo. Por ejemplo, los casos en que el agua es poco profunda se manejan de manera y con aparatos diferentes que los usados en sitios con agua profunda.

Ríos y corrientes

Las características fluviales de una estación de muestreo cambian con la época del año. Cuando se establece una estación de muestreo sobre un río o corriente deben considerarse los flujos anuales mínimo y máximo y la accesibilidad durante todo el año. Para evitar la contaminación de las muestras, el muestreo debe hacerse corriente arriba de la posición del investigador.

Lagos

El muestreo de agua de lagos tiene menos variación temporal pero mayor variación espacial que el muestreo de corrientes. Esta observación favorece la evaluación de tendencias a largo plazo en el lago. Como regla general, las estaciones de muestreo de agua y sedimento en lagos se deben localizar cerca del centro, a la mayor profundidad, para evitar efectos de contorno o borde.

Las muestras de agua en lagos generalmente se colectan usando lanchas de aluminio, balsas de plástico y ocasionalmente helicópteros. Se debe hacer un proyecto específico para el uso de estos medios de transporte poniendo énfasis en los analitos a determinar. Por ejemplo, si los metales pesados son el principal interés se debe usar una lancha de plástico, mientras que es más adecuada una lancha de aluminio para muestrear compuestos orgánicos tóxicos. Sin hacer caso del tipo de embarcación que se use, las muestras nunca deben tomarse en la popa del bote, donde flota aceite y gasolina del motor fuera de borda que pueden contaminar las muestras.

c) Selección del equipo de muestreo

En lagos grandes las muestras se colectan en forma manual, generalmente los muestreadores automáticos se usan para tomar muestras de corrientes y descargas de agua residual. Los dispositivos de muestreo deben ser de materiales compatibles con la matriz y los analitos de interés. Las partes metálicas deben ser de acero inoxidable, no deben usarse metales pintados o con recubrimientos. Es importante tomar los blancos del equipo (enjuagues) usando agua bi o tridestilada para enjuagar el equipo de muestreo antes de usarlo.

El uso de plástico de silicón grado médico en las bombas peristálticas evita la contaminación de la muestra con peróxidos orgánicos que se usan para fabricar el plástico de silicón grado convencional, si se colectan sustancias orgánicas el resto de la tubería debe ser de teflón. Cuando se muestrea para determinar los parámetros de calidad del agua (pH, color, oxígeno disuelto) se debe usar tubería de PVC calidad grado alimenticio para evitar contaminación de las muestras con compuestos de fenol.

Las muestras de agua para analizar compuestos orgánicos volátiles siempre son simples y se usan viales de vidrio con tapas forradas con teflón sin dejar espacio libre. Cuando los analitos de interés son metales, las muestras se colectan en contenedores de plástico (polipropileno) o de vidrio añadiendo ácido nítrico para su estabilidad.

d) Preservación y almacenamiento de la muestra

Las muestras de agua están en constante cambio debido a los procesos físicos, químicos y biológicos propios del sistema dinámico del sitio de muestreo. Las concentraciones de los analitos se pueden alterar debido a volatilización, adsorción, difusión, precipitación, hidrólisis, oxidación y efectos fotoquímicos y microbiológicos. Por lo cual se debe agregar algún conservador a la muestra, éste debe de ser de alta pureza para evitar contaminar la muestra de agua con impurezas del mismo.

La estabilidad de los analitos de interés depende de qué tan bien se preserven las muestras. Las instrucciones de preservación se deben especificar en el contenedor de la muestra, por ejemplo pH, protección a la luz, ausencia de espacio libre, adición de algún conservador y control de la temperatura, según las propiedades químicas de los analitos de interés y reconocer las reacciones que pueden ocurrir aún bajo condiciones de preservación recomendadas, por ejemplo la hidrólisis.

- Los compuestos orgánicos presentes en aguas residuales pueden cambiar debido a la actividad microbiológica. Estas muestras y las que contienen analitos orgánicos se deben enfriar inmediatamente, almacenar y enviar al laboratorio a bajas temperaturas (4°C).
- Los analitos también pueden formar sales que precipitan, lo más común es la precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos debido a que los iones metálicos reaccionan con el oxígeno. Esta precipitación se previene adicionando ácido nítrico; también en pH bajo (menor de 2) y iones de nitrato mantiene muchos metales en solución. En especial los ácidos clorhídrico y sulfúrico pueden causar precipitación de sales insolubles y/o interferencias analíticas.
- A las aguas que contienen cianuros o sulfuros se les añade hidróxido de sodio para asegurar que no se forme cianuro de hidrógeno o sulfuro de hidrógeno. Las aguas con amoniaco se preservan adicionando ácido sulfúrico; sin embargo, pueden precipitar otros cationes, especialmente metales.

Las muestras de agua deben estar bien tapadas y empacadas para evitar que se derramen o se rompan. Las muestras de un mismo sitio deben mantenerse juntas. Se deben poner etiquetas de identificación en cada contenedor e indicar los datos del embarque y el modo de transporte en la hoja de muestreo en campo.

Se debe fortalecer la práctica de añadir agua destilada a las botellas para blancos (o testigos) de campo en el laboratorio antes de iniciar el viaje al campo. La preservación de los blancos puede hacerse en el campo.

Muestreo de sedimentos

Los sedimentos están constituidos por arena, limo y arcilla en diferentes proporciones dependiendo del lugar de donde se tome la muestra bajo el agua, y pueden ubicarse abajo de una corriente de flujo o en la profundidad del fondo del océano. En el contexto de los sitios con suelo contaminado están en el fondo de lagunas, lagos y corrientes.

El muestreo de sedimentos sólo deberá realizarse si la evaluación preliminar del sitio indica que existe potencial de contaminación de éstos. En el caso de sitios abandonados resulta más apropiado colectar muestras de sedimentos que muestras de agua.

El paso inicial en el diseño de un programa de muestreo de sedimentos es la revisión de datos históricos para caracterizar los sedimentos en términos de su tipo y de las concentraciones potenciales de contaminantes. Cuando no existe información histórica es conveniente intentar un estudio preliminar para ayudar a planear el programa de muestreo detallado, que requiera un mínimo de tiempo y esfuerzo.

El acceso al área de muestreo juega un papel importante en la estrategia de muestreo, la logística y la selección del equipo. Existen básicamente dos opciones para la colección de muestras: el muestreo desde una plataforma y el muestreo mediante buceo. Las plataformas de muestreo generalmente son barco, lancha, helicóptero, etcétera. El muestreo por medio de buceo generalmente ofrece muestras de mejor calidad en particular los corazones de sedimentos, aunque es más costoso y difícil que el muestreo desde una plataforma.

Los datos del estudio de reconocimiento regional, proporcionan información, tal como concentraciones previas generales o concentraciones de diferentes sustancias químicas en el suelo, las cuales mediante desgaste por agentes atmosféricos y/o erosión contribuyen al aporte de material a los sedimentos. Este material puede entrar desde una cuenca o vertiente en forma disuelta o asociada con materiales de suelo erosionado y puede incluir por ejemplo plaguicidas o fertilizantes de las actividades agrícolas, residuos de minería, materiales excavados, efluentes y subproductos de procesos industriales y/o mineros.

a) Tipo de muestreo de sedimentos

Se debe establecer el tipo de muestreo de sedimento, esto dependerá si lo que se busca es un contaminante reciente debido a un accidente o descarga de aguas residuales o contaminantes que llegaron al fondo desde tiempo atrás:

- En la interfase sedimento-agua, se buscan contaminantes recientes, las muestras de sedimentos suspendidos se colectan para determinar la cantidad y las características físicas y químicas de los sedimentos en suspensión.
- En los sedimentos de fondo, se buscan contaminantes de tiempo atrás, se puede obtener información de las características físicas y químicas de las partículas que componen el lecho del sistema en estudio del sitio de interés.

Se debe incluir algunos sitios de control en el programa de muestreo en el estudio de contaminación de sedimentos, los cuales se seleccionan en áreas donde no esté contaminado. Los datos que se obtienen de los sitios de control son importantes para determinar las concentraciones naturales cuando se hace la representación gráfica de la distribución y los gradientes de concentración de contaminantes.

Existen dos técnicas de muestro, la primera consiste en la colección de más de una muestra de sedimento en los sitios de muestreo usando igual equipo de muestreo e iguales procedimientos de submuestreo en campo, prácticas de manejo y almacenamiento y métodos de análisis; en la segunda técnica el muestreo se divide en pocas submuestras y cada una de éstas se trata como una muestra individual.

b) Selección de los sitios de muestreo

El objetivo de la selección de sitios de muestreo es maximizar la probabilidad de detección de las áreas con las concentraciones más grandes de contaminantes o al contrario minimizar el costo de colección de muestras inadecuadas o las pérdidas al no colectar muestras. El número y ubicación de las estaciones de muestreo deben diseñarse cuidadosamente.

Una de las consideraciones más importantes cuando se colectan sedimentos superficiales es obtener una muestra representativa. Invariablemente es mejor colectar un grupo de submuestras para generar una muestra compuesta, que colectar arbitrariamente una muestra simple aislada representativa del sitio.

Deben evitarse sitios de muestreo en lugares donde confluyen corrientes, ya que pueden estar sometidos a fenómenos contracorriente. En corrientes demasiado profundas para poder sumergirse en ellas, los sitios de muestreo deben localizarse abajo de puentes, seleccionando el lado corriente arriba y evitando el muestreo en áreas de alta turbulencia cerca de los muelles o desembarcaderos.

Cuando se definen las posiciones y número de estaciones de muestreo deben considerarse los siguientes factores:

- Propósito del muestreo
- Objetivos del estudio
- Datos históricos y otra información disponible
- Dinámica del fondo en el área de muestreo
- Tamaño del área de muestreo
- Fondos disponibles contra costo (real) estimado del proyecto

El número y espaciamiento de las estaciones de muestreo dependen del tamaño físico del área del proyecto, y de qué tan grande es el área que representa cada muestra. El número de estaciones está en función de la variabilidad de los procesos que controlan la distribución de las variaciones del parámetro fisicoquímico o sustancia química de interés.

c) Selección del equipo de muestreo

El muestreo de la capa superficial del sedimento proporciona información sobre la distribución horizontal de las propiedades de interés para el material recientemente depositado, tal como distribución del tamaño de partícula o composición geoquímica del sedimento, mientras que el sedimento de fondo proporciona información en el tiempo ya que las partículas se van depositando una sobre otras, mientras más profundo se tome la muestra, los resultados obtenidos datarán de mayor tiempo.

Para estudiar los cambios históricos en los parámetros de estudio o para definir zonas de contaminación se colecta una columna de sedimento que incluye la capa de sedimento superficial (10 a 15 cm.) y el sedimento debajo de esta capa. El perfil geoquímico típico muestra un decremento exponencial de las concentraciones de contaminante con la profundidad del sedimento, esto se debe a que muchos compuestos químicos de interés ambiental son de origen reciente.

Muestreo de sedimentos suspendidos

Los sedimentos del lecho superficial proporcionan la distribución espacial de los contaminantes. Estos estudios imponen el muestreo al azar en grandes áreas geográficas usando sedimentos colectados en pequeñas corrientes que hayan sido localizadas.

El muestreo y análisis de sedimentos suspendidos son un requisito para cualquier estudio que involucre la determinación del transporte de contaminantes y el cálculo de flujos de contaminantes. Además, los sedimentos suspendidos junto con el muestreo y análisis de muestras disueltas puede representar el único medio disponible de determinar cambios temporales en corto tiempo en la calidad del agua.

Muchas veces se obtienen muestras instantáneas representativas; sin embargo, existe evidencia de que los cambios temporales en la concentración de sedimentos suspendidos y las distribuciones en la sección transversal (cambios espaciales) pueden ser bastante grandes y por consiguiente las muestras deben obtenerse en un periodo de tiempo largo para ser realmente representativas, por ejemplo de 8 a 10 horas. Por lo tanto el usuario debe decidir cuál variable es más importante para el estudio y seleccionar un muestreador y técnica acorde con ello.

Los muestreadores para sedimentos suspendidos colectan una muestra representativa de la mezcla agua-sedimento, y en general son de tres tipos:

- Muestreadores integrados, los cuales acumulan una mezcla de sedimento-agua en un tiempo dado. Generalmente se prefieren éstos, porque obtienen muestras más representativas de la sección transversal.
- Muestreadores simples o instantáneos, los cuales atrapan un volumen de agua completo sellando los extremos de una cámara de flujo contínuo.
- Muestreadores de bombeo, los cuales colectan una muestra completa de agua por acción del bombeo.

Muestreo de sedimentos de fondo

Las muestras de sedimentos de fondo se toman a la altura del ensanchamiento del río, donde se depositan las partículas suspendidas en el fondo del río, en un lago las muestras se colectan en el punto más profundo. Para obtener un buen estimado de la variabilidad espacial del parámetro de interés dentro de los sedimentos de fondo, el muestreo debe realizarse en tantos sitios como sea posible dentro del lago o río que se está estudiando. Generalmente los sedimentos de fondo tienen alto contenido de arcilla y materia orgánica, debido a que es un medio donde se desarrolla todo un ecosistema dinámico, por lo que se puede aprovechar dicho muestreo para obtener información biológica.

Los muestreadores para sedimentos de fondo son de tres tipos:

I. Muestreadores simples, colectan grandes cantidades de muestra, la selección del tipo de muestreador simple depende de la evaluación de cuatro criterios:

- El grado de desorden físico durante el muestreo, debido a la onda de presión creada por el dispositivo que puede dispersar sedimento de grano fino o flóculos en la interfase sedimento-agua.
- La pérdida de material, especialmente sedimentos de gránulo fino, durante la recuperación del muestreador por arrastre del agua.
- La eficiencia del muestreador para colectar sedimentos de diferentes texturas, por ejemplo, tamaño de grano, grado de endurecimiento.
- El potencial de contaminación de la muestra.

II. Muestreadores de corazón, sirven para colectar muestras de columna de sedimento y sedimento superficial con mínima perturbación. Los cuales se clasifican en tres categorías:

- Los muestreadores de gravedad, usan la fuerza de la gravedad para penetrar dentro de la columna de sedimento y obtener una muestra. Normalmente se obtienen corazones de 2 m de longitud.
- Los muestreadores de pistón se usan para obtener corazones largos en sedimentos relativamente suaves. El pistón crea vacío, lo cual reduce la resistencia de fricción a la penetración del barril. Con estos equipos se obtienen corazones de más de 30 m de longitud.

- Los muestreadores vibratorios se usan para obtener corazones largos en sedimentos bastante duros. Estos dispositivos pueden funcionar con electricidad o aire comprimido. El muestreo se logra a través del uso de barriles de pared delgada junto con vibración, la cual tiende a fluidizar los sedimentos para facilitar la penetración. La longitud se controla por el tamaño del equipo, generalmente no exceden los 12 m.

Los dispositivos de pistón y de gravedad se usan en ríos, lagos, estanques y lagunas; para obtener muestras de corazones sin alterar. Los muestreadores de este tipo esencialmente son tubos que se clavan dentro del lecho del sistema, las muestras se retienen dentro del barril del muestreador por el vacío que se forma arriba de la muestra y/o por un contenedor en el extremo inferior.

Muchos de los criterios que se aplican para la selección de un muestreador simple se aplican también a la selección de un dispositivo para obtener corazones. Un criterio adicional es la longitud de la columna de sedimento que se va a muestrear. La selección de muestras de corazones involucra submuestreo, especialmente cuando existen diferencias físicas obvias, como textura o color, entre varias secciones de un corazón entero.

III. Dragas, colectan muestras más grandes, bien mezcladas.

d) Preservación y almacenamiento de la muestra

En general, los requerimientos de preservación y almacenamiento de sedimentos son similares al de suelo. Los procedimientos para el manejo y preservación de las muestras dependen de los análisis específicos necesarios y del ambiente en que se tomó la muestra, ya sea suspendido o de fondo. Las muestras para análisis de metales traza requieren preservación y precauciones especiales para evitar contaminación. Las botellas de muestreo siempre deben limpiarse, lavarse a fondo, secarse y sellarse antes de llevarlas al sitio de muestreo.

Las muestras de sedimento se deben filtrar tan rápido como sea posible después de colectarlas. El filtrado se puede usar para medir los constituyentes disueltos. Los procedimientos de preservación involucran refrigeración para compuestos orgánicos y acidificación para metales. Los análisis de muestras de sedimentos suspendidos están limitados debido a la dificultad de obtener suficiente sedimento para todas las submuestras que se requieren para los diferentes análisis, inclusive puede ser necesario hacer una muestra compuesta de un gran número de muestras representativas.

Las muestras de sedimentos para análisis de rutina del tamaño de partícula, se pueden transportar y almacenar sin refrigeración.

Con los resultados obtenidos del muestreo, tanto de agua como de sedimentos sobre las sustancias tóxicas de interés, las cuales podrían afectar a la salud de la población, se deberán contrastar estos valores de para saber si se exceden los valores límites máximos permisibles reportados en la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.*

2.4.4.2 Análisis de datos climatológicos

Generalmente el caudal de la corriente (corrientes perennes, drenes de extensas tierras húmedas) es muy variable durante el año, aunque se pueden predecir, porque dependiendo de las estaciones del año los flujos varían, la capacidad de formación del cauce es función de la creciente del río. La información de este punto se puede obtener del Servicio Meteorológico Nacional y de la Comisión Nacional del Agua.

2.4.4.3 Estudios hidrológicos

Estos estudios tienen gran relevancia, ya que nos indican las cualidades hidrológicas del sistema acuático y estos deben incluir la cantidad de descargas anuales, estacionales, periodicidad de descargas, proceso de flujo superficial incluyendo velocidades, turbulencia, corrientes tranquilas; crecimiento de flujo de agua y procesos de intercambio; tiempo de retención, distribución del tamaño de partícula y cantidad de lecho y flujo del sedimento. Algunos de estos datos se pueden solicitar a la Comisión Nacional del Agua.

2.4.4.4 Indicadores de eutroficación

Para conocer el grado de contaminación, se debe tener en cuenta el estado trófico en que se encuentra el cuerpo de agua en estudio, debido al aporte de nutrientes, a la producción primaria que se lleva a cabo y al desequilibrio que provoca en los ecosistemas acuáticos.

La eutroficación de las aguas es un proceso natural de enriquecimiento de nutrientes de los cuerpos de agua, pero éste se acelera con el aporte de residuos de origen antropogénico y como consecuencia el deterioro de su calidad es progresivo, principalmente en lagos, debido a la proliferación vegetal con las repercusiones consiguientes en el metabolismo global de las aguas afectadas.

La entrada de nutrientes en los lagos y embalses, acelera el incremento de la producción primaria en la superficie (producción de algas planctónicas en la zona de aguas libres o capa eufótica), esto implica un aumento en la turbiedad y un cambio de coloración del agua, que se vuelve más verdosa, esta coloración entre más intensa sea puede indicar mayor grado de eutroficación.

Con los indicadores de eutroficación, se puede observar de forma directa la calidad del agua y la estabilidad de la cadena trófica, algunas indicaciones son:

- Una fuerte coloración verde amarillenta o pardusca.
- Turbiedad, una falta de transparencia no imputable a material mineral.
- La presencia de olores en las capas profundas, por ejemplo, si resulta evidente que el desagüe del fondo de una presa produce un olor a ácido sulfhídrico (huevo podrido), el embalse se puede considerar como eutrófico, cuanto más intenso sea ese olor.
- La proliferación de algas planctónicas y la propagación de abundantes algas filamentosas; las cuales se encuentran flotando en la superficie.
- Acumulación de espuma no atribuida al uso de detergentes.

- Proliferación masiva de macrófitas litorales o de plantas flotantes (como lirio acuático), suele estar asociada a lagos eutróficos, lo cual también sugiere el aporte de nutrientes a los sistemas acuáticos.

Estos indicadores se pueden observar fácilmente y se puede tener el apoyo de estudiantes de biología de la universidad más cercana.

2.4.4.5 Análisis biológicos

Los estudios de la dinámica de poblaciones de la flora y la fauna brindan información importante acerca de su densidad poblacional, velocidad de crecimiento, longevidad, integración de especies (presencia de especies endémicas antes de la perturbación del ecosistema), productividad, estabilidad, tamaño y distribución de las clases de edad, incidencia de enfermedades, defectos genéticos, etc. El objetivo es conocer la estabilidad del ecosistema acuático.

El equilibrio poblacional de los animales y las plantas responden de manera inmediata a la contaminación, que muchas veces no se detecta en el programa de toma de muestras para el análisis fisicoquímico. Con los análisis biológicos se puede observar un inesperado descenso de la diversidad biológica, pues algunas especies pueden desaparecer y muchos organismos morir por la presencia de sustancias tóxicas y la contaminación orgánica.

Se disminuye la diversidad de especies conforme aumenta la contaminación del cuerpo de agua, dado que las especies más sensibles desaparecen del ecosistema, siendo esto la fauna (animales) cuyos índices metabólicos son superiores; mientras que otras especies aceleran su crecimiento debido a la abundancia de nutrientes, como algunas especies de fotosintetizadotes (plantas), así como algunos invertebrados. En las aguas muy contaminadas, los gusanos tubícolas suelen ser muy abundantes, formando a menudo monocultivos con densidades superiores a $10^6/m^2$; si las condiciones empeoran desaparecen sucesivas especies de gusanos y solo sobreviven las especies *Limnodrilus hoffmeisteri* y/o *Tubifex tubifex*; para estos organismos las descargas de aguas residuales son un medio excelente para anidar y alimentarse, además con la ventaja de que no tienen depredadores.

Algunas especies son particularmente susceptibles a determinados compuestos químicos y actúan como indicadoras de contaminación. Las características deseables que una especie indicadora debe satisfacer son:

1. Solidez taxonómica: Sin discusión sobre su validez y con características morfológicas específicas para facilitar su identificación.
2. Amplia distribución para que sea útil en una área geográfica amplia.
3. Abundancia: Debería ser abundante antes de que ocurra el impacto, ya que su respuesta puede ser positiva o negativa; no se debe basar en la presencia o ausencia.

El argumento es que en este grupo de especies es más rápido el cambio en abundancia tanto en espacio como en tiempo.

Una ventaja de la vigilancia biológica, es que los organismos responden a la presencia de contaminantes nuevos o insospechados y de esta forma se puede detectar un cambio de tipo biológico en el ecosistema, o de alguno que afecte a determinados individuos. Como la compensación de la pérdida de organismos se lleva a cabo por medio de migraciones y reproducción, se puede observar el efecto del contaminante durante semanas e incluso meses después.

Se deben hacer algunas preguntas sobre la flora y fauna para conocer la exposición de la población:

¿Puede existir contaminación de la flora y fauna?

¿Pueden llegar los contaminantes a la cadena alimenticia del hombre?

¿Es la fauna fuente alimenticia de la comunidad?

¿El agua contaminada se emplea para las actividades del hogar?

El análisis biológico requiere de preparación técnica, se puede pedir apoyo a las instituciones universitarias más cercanas, a través de servicio social o tesistas de la carrera de biología.

2.4.4.6 Análisis toxicológicos

Es necesario aplicar pruebas de bioensayo en los estudios de la contaminación del agua, cuando en los análisis fisicoquímicos se hayan encontrado concentraciones altas de los compuestos químicos tóxicos de interés o concentraciones bajas de compuestos muy tóxicos para determinar los efectos potenciales sobre la biota acuática, ya que la interacción de factores químicos da origen a diversos efectos tóxicos, originando respuestas que no se pueden determinar y por lo tanto pueden representar un riesgo a la población, por el consumo del agua o de peces contaminados.

Algunos compuestos químicos tóxicos se encuentran en bajas concentraciones dentro de los sistemas acuáticos, por las descargas de contaminantes industriales, pero algunas veces no se detectan con los análisis fisicoquímicos; sin embargo, afectan a la flora y fauna del ecosistema, las cuales sufren alteraciones y/o bio-acumulación, por lo que es necesario realizar análisis toxicológicos para determinar las concentraciones que reflejen los niveles de contaminación, ya que la acumulación puede durar largos periodos de tiempo, mientras que el nivel del contaminante es muy bajo en el cuerpo de agua en espacio y tiempo.

Para la evaluación de la calidad del agua es importante realizar bioensayos que consisten en la determinación de las respuestas de los organismos vivos (la disminución o aumento de la población, respuesta fisiológica, el comportamiento y la sobrevivencia o muerte de los individuos), ante la presencia de los desechos tóxicos presentes en el ecosistema acuático. Generalmente se emplean algunos organismos como los invertebrados *(Daphnia magna)*, algas (*Scenedesmus, Selenastrum capricornutum*) y peces como la trucha arcoiris, por su susceptibilidad a los compuestos químicos.

Los efectos manifestados en comunidades naturales (flora y fauna) se pueden considerar como una alerta de los posibles riesgos a la salud humana por la contaminación, sobre todo para aquellos que habitan en los lugares vecinales a las cuencas y cuya alimentación se basa en las especies comestibles del cuerpo de agua, como es el bagre, mojarra, tilapia, trucha y carpa, por lo que es importante realizar estudios toxicológicos de las especies que se encuentren en el cuerpo de agua en cuestión. Por otra parte, dichos análisis proporcionan información acerca de los tipos de contaminantes y por lo tanto de la(s) fuente(s) de contaminación industrial de la(s) que proviene(n). Los análisis toxicológicos se deben relacionar con los análisis biológicos.

Los análisis toxicológicos se deben realizar cuando se considere necesario dependiendo de la sustancia tóxica de interés, el analista técnico que realice el análisis del ecosistema, podrá determinar la importancia de realizar estos estudios, se puede pedir apoyo a las instituciones universitarias más cercanas, a través de estudiantes o tesistas de la especialidad relacionada con medio ambiente.

2.4.4.7 Análisis de la información y conclusiones

Con los datos obtenidos por medio de los estudios mencionados en el punto 2.4.3, se puede diagnosticar el grado de contaminación de los ecosistemas de los cuerpos receptores, el tipo de sustancias tóxicas presentes y los riesgos a la salud. También se pueden plantear las estrategias a seguir para el saneamiento del sistema acuático. Por otra parte, esta evaluación se puede considerar como antecedente de las propiedades físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua.

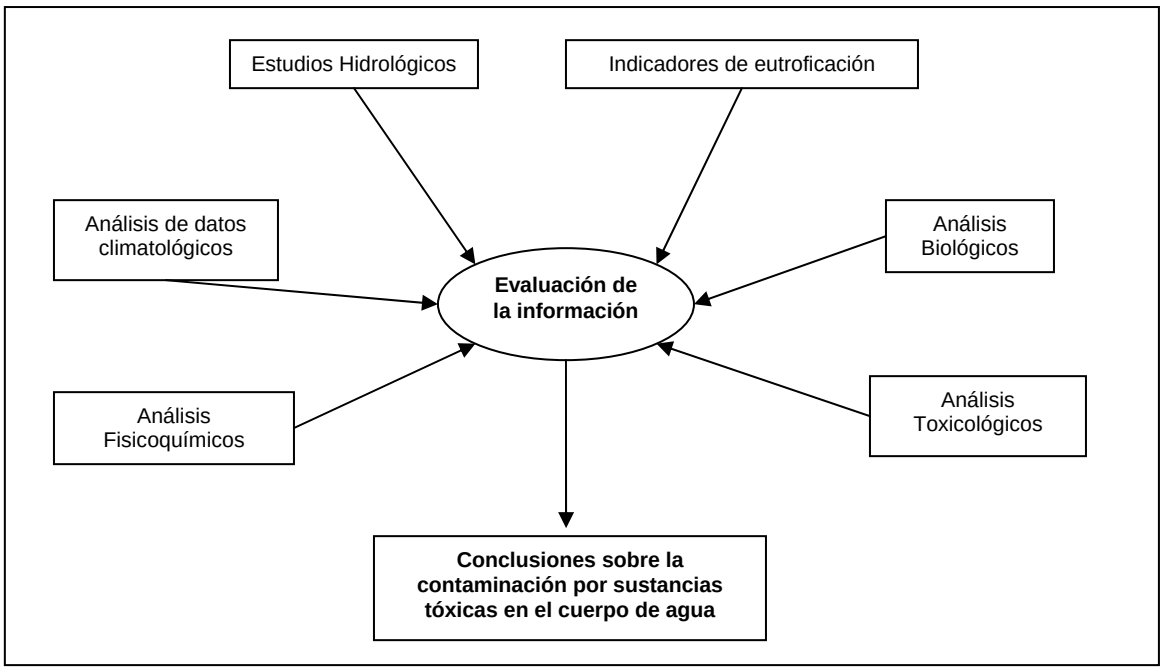


Fig. 2.2 Diagrama de flujo para la evaluación de la contaminación de un sistema acuático

2.4.5 Agua subterránea

Los acuíferos son uno de los medios que más se contaminan en los sitios contaminados. Por lo tanto, deberán ser monitoreados no sólo a través de los pozos construidos por el hombre, sino también colectando muestras de manantiales, ojos de agua, etc. Es muy importante referenciar los niveles de metales o sustancias persistentes en acuíferos que se podrán comparar con valores de referencia (por ejemplo, los de la EPA). Los muestreos de acuíferos se deben completar con algunos análisis de muestras de grifos caseros, ya que la concentración del contaminante en estos puede variar con respecto al valor encontrado en el pozo o manantial, cuando el agua potable provenga de agua subterránea.

Es necesario investigar la siguiente información para clasificación del acuífero:

- Tipo de acuífero (acuífero no confinado, semiconfinado o confinado)
- Dirección de la corriente subterránea
- Antigüedad
- Localización
- Profundidad
- Usos de los pozos ubicados en la región

Preguntas que habrán de realizarse con respecto a la contaminación del acuífero:

- ¿Puede contaminarse el acuífero por el material presente en la superficie?
- ¿Existen datos de sobreexplotación del acuífero?
- ¿Podría estar el acuífero superficial en contacto con el acuífero profundo a través de los pozos?

En caso de que no haya antecedentes de contaminación en la zona del sitio, se deberá examinar la información oficial existente sobre la región. La dirección de la corriente subterránea se puede estimar sobre la base del nivel del agua en los pozos profundos de la zona de estudio.

La vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación está afectada por la profundidad del agua, la rapidez de recarga (infiltración), la composición del suelo y la topografía (inclinación), así como por la volatilidad y persistencia de los analitos que se están determinando. En la planeación de las estrategias de muestreo del agua subterránea es necesario el conocimiento de las características físicas y químicas del sistema del acuífero. Las aguas subterráneas presentan especiales retos para obtener muestras representativas.

2.4.5.1 Colección de muestras representativas de agua subterránea

Los pozos de monitoreo no deben perforarse a menos que sea necesario, esto es sólo si durante la evaluación preliminar existe potencial de contaminación del agua subterránea. Antes de decidir instalar pozos, se debe considerar lo siguiente:

- Profundidad al acuífero y tipo de materiales geológicos
- Probabilidad de detectar contaminación en los pozos de monitoreo
- Costos de la instalación
- Importancia de la salud pública

El objetivo principal de instalar pozos es colectar datos del agua subterránea que pueden usarse para demostrar que ha habido una emisión de contaminantes. Otros objetivos pueden ser delinear la pluma de la sustancia peligrosa o trazar el movimiento de la sustancia.

Para colectar muestras representativas de agua subterránea se necesitan considerar factores estacionales, tales como la época del año en que se hará el muestreo, si se muestrea antes o después de la estación de lluvia, o si el muestreo se hace después de periodos de alto uso de productos químicos agrícolas.

En la construcción y uso de pozos de monitoreo se debe minimizar la alteración del agua que se muestrea cuidando, durante el proceso de perforación, no producir contaminación cruzada de los acuíferos con la capa superior de suelo que está suelta, posiblemente contaminada con sustancias químicas o agrícolas.

Antes de colectar las muestras se purgan los pozos para eliminar el agua estancada. El método y la rapidez de purga, el tiempo entre la purga y el muestreo y el muestreo en sí, dependerán del diámetro, profundidad y rapidez de recarga del pozo. En cada pozo se debe probar la presión o bombeo para determinar la conductividad hidráulica de la formación y estimar la cantidad y rapidez de purga antes del muestreo.

Algunas veces es útil monitorear cambios en el pH, temperatura o conductancia en muestras consecutivas para determinar el momento en que la muestra es representativa, esto es cuando los valores dejan de cambiar.

Los dispositivos de muestreo y los contenedores de la muestra siempre son probables fuentes de contaminación por lixiviación de contaminantes, por ejemplo el PVC que contiene zinc, hierro, antimonio y cobre puede lixiviar estos metales dentro de las muestras de agua. El PVC flexible y otros plásticos pueden lixiviar ésteres de ftalato que enmascaran otros contaminantes. El polietileno que contiene antimonio, también puede lixiviarlo. Los restos de muestras que quedan en el muestreador deben evitarse al tomar la siguiente muestra. El plomo y el estaño son contaminantes comunes del agua que se transporta a través de tubería soldada. El agua que contiene altos niveles de calcio tiende a extraer plomo, mientras que el estaño se remueve en pequeñas cantidades a lo largo de muchos años.

Durante la evaluación de la contaminación del agua subterránea se deben incluir muestras de blancos de equipo, campo y condiciones naturales. La selección se debe hacer considerando todas las probables fuentes de contaminación para cada situación específica.

Otro problema común es la adsorción del analito en los materiales de construcción de los contenedores y muestreadores, el PVC y otros plásticos tienden a adsorber compuestos orgánicos y lixiviar plastificantes y otras sustancias químicas usadas en su manufactura. Algunos plaguicidas y compuestos halogenados se adsorben fuertemente en vidrio.

Generalmente se recomienda que las muestras de agua subterránea de pozos de monitoreo para análisis de metales se filtren a presión en campo antes de su preservación y análisis. Las muestras colectadas para determinar metales normalmente se acidifican; la acidificación de muestras sin filtrar puede llevar a la disolución de minerales a partir de arcillas suspendidas. Las muestras para análisis de compuestos orgánicos nunca se filtran.

Para la evaluación de agua subterránea es importante apoyarse en la Comisión Nacional del Agua, ya que esta dependencia tiene información del número de pozos que se tienen e información relacionada con cada pozo, también es quien monitorea la calidad de agua de dichos pozos.

2.5 CONCIENTIZACIÓN DE LA POBLACIÓN

2.5.1 Introducción

A lo largo de la historia, el hombre siempre ha tenido la necesidad de vivir en sociedad. Esta convivencia se ha caracterizado por no lograr una armonía con la naturaleza y, en principio, por un desequilibrio con los diferentes recursos naturales y una drástica afectación del entorno.

Por falta de planeación para definir las áreas adecuadas para instalar zonas habitacionales e industriales, muchas comunidades alrededor del mundo han utilizado diversos sitios para ubicar sus zonas habitacionales, teniendo como práctica común utilizarlos en exceso y sin ningún control. Adicionalmente, no existe una clara percepción de lo frágil que pueden ser los ecosistemas y lo limitado de algunos de ellos para auto restaurarse.

Si bien, el concepto de sustentabilidad no aparece sino hasta finales del siglo XX, la preocupación por cuidar el medio ambiente tiene sus primeras manifestaciones a partir de los años 60, situación que ha señalado un contraste entre los que consideran que los recursos son limitados y aquellos que han mostrado un profundo desinterés por el medio ambiente. Los cambios climáticos recientes, obligan a establecer programas integrales encaminados al cuidado del ambiente y a la aceptación de que la actividad humana ha roto el equilibrio de los ecosistemas.

Bajo este contexto, no debe considerarse como una sorpresa que existan infinidad de sitios que a lo largo de los años han sufrido diferentes grados de contaminación como resultado de la actividad humana, ya sea industrial, comercial o habitacional.

En un principio, la falta de regulaciones relacionadas con el control de descargas al subsuelo o la no aplicación de la normatividad existente, así como la falta de tratamientos por parte de la industria o la creencia por parte de la comunidad de que la basura o los desechos sólidos desaparecen en cuanto son depositados en un camión recolector, ha favorecido el crecimiento de diferentes sitios contaminados a lo largo del país.

Hasta este momento, la primera interrogante estaría relacionada con la capacidad del subsuelo para degradar o desparecer los residuos sólidos que se han depositado por descuido o intencionalmente a lo largo de los años. Sin embargo, también se debe tener presente que en dichos residuos se encuentran desechos que no necesariamente son biodegradables, sino más bien, existe un gran porcentaje de desechos que contienen metales pesados, aceites gastados, residuos de sustancias peligrosas y medicamentos caducos, entre otros contaminantes.

Al abrir un poco más el abanico de posibilidades acerca de las sustancias que pueden estar presentes en el subsuelo, no es difícil encontrar también plaguicidas o hidrocarburos, teniendo que aceptar que al subsuelo se le ha condenado a resolver vicios ecológicos y un desorden ambiental.

Adicionalmente al escenario anterior, las comunidades día a día siguen creciendo y expandiéndose en todas direcciones y normalmente sin planeación, hasta alcanzar todas aquellas zonas que en un principio fueron consideradas o destinadas a tiraderos o rellenos sanitarios. Las comunidades que se asientan en áreas cercanas a los tiraderos, basureros a cementerios industriales, se encuentran expuestas a una variedad amplia de contaminantes.

2.5.2 Evaluación de impactos ambientales en las ciudades

Para poder identificar todas estas comunidades que normalmente se encuentran expuestas a peligros y riesgos, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha creado un proyecto encaminado a la evaluación de los impactos ambientales en las grandes ciudades.

Los objetivos del proyecto conocido con el nombre de GEO (Global Environment Outlook – Evaluaciones Ambientales Integrales) son los siguientes:

- Reconocer los vínculos que existen entre las condiciones ambientales y las actividades humanas.
- Contribuir en la formación de capacidades técnicas locales para la evaluación integral del estado del medio ambiente urbano.
- Crear un consenso sobre los problemas ambientales más críticos de cada ciudad.
- Fomentar e implementar estrategias y planes urbanos con el fin de ayudar a las ciudades a mejorar la gestión ambiental urbana.
- Promover la creación de redes de apoyo institucionales en cada ciudad, encaminadas a la solución de los problemas más críticos que enfrentan sus habitantes.

La metodología utilizada por el proceso GEO, pretende dar respuesta a las siguientes preguntas básicas:

- ¿Qué está ocurriendo con el medio ambiente?
- ¿Por qué está ocurriendo?
- ¿Cuál es el impacto?
- ¿Qué se está haciendo en materia de políticas ambientales?
- ¿Qué pasará si no se actúa inmediatamente?
- ¿Qué se puede hacer para revertir la situación actual?

Al aplicar el proceso GEO a la Ciudad de México, se encontraron las siguientes prioridades ambientales, que de igual forma manifiestan la misma tendencia y comportamiento de las ciudades y municipios de nuestro país.

- Una urbanización acelerada, desordenada y con graves afectaciones al ambiente.
- Daños casi irreversibles a todos los cuerpos de agua.
- Situación crítica de algunos contaminantes como el ozono y las partículas suspendidas que rebasan la norma ambiental.
- Una generación promedio de residuos sólidos por habitante de 1.2 kg, lo que significa que cada día se producen 21,000 toneladas.
- No existen sitios de disposición final para esta cantidad de residuos y los sitios existentes se encuentran cercanos a su nivel de saturación.

El estudio permitió visualizar como la máxima vulnerabilidad de la Ciudad de México está relacionada con la sobre explotación de los acuíferos y el hundimiento de diversos sitios.

2.5.3 Comunicación de riesgos hacia la comunidad

Si en términos sencillos y prácticos la comunicación es el proceso mediante el cual se transfiere información para lograr un fin último, se debe analizar detalladamente dicho proceso sobre todo cuando se está hablando de comunicar un peligro o riesgo hacia la población.

El proceso más sencillo es aquél en el cual existe un emisor, un canal de transmisión y un receptor, sin embargo, el proceso se comienza a complicar cuando las distorsiones del entorno alteran el mensaje original. ¿Pero, qué sucede cuando el mensaje original está relacionado con situaciones de peligro y riesgo que pueden afectar a la comunidad? Definitivamente se corre el riesgo de no sólo perder el mensaje original, sino de alterar completamente los resultados deseados.

Adicionalmente, hay que tener presente que todas las comunidades son diferentes, quizás desde el punto de vista de organización puedan mantener un esquema similar, pero cuando se está hablando de mensajes encaminados a lograr una alerta o concientización de las mismas comunidades, las estrategias deben ser diferentes.

Tomando como base diferentes experiencias obtenidas durante la implementación de programas encaminados a la concientización de la población, tanto en México como en América Latina y el Caribe, se han podido identificar las siguientes variantes:

- Existen líderes formales y líderes informales, los formales tienen la autoridad que normalmente se les delega, pero los líderes informales suelen tener la autoridad moral y el liderazgo, razón por la cual la comunidad atiende casi al pie de la letra sus indicaciones.
- Para lograr que un mensaje penetre las capas más profundas de la misma comunidad y logre su efectividad, es necesario identificar a los diferentes líderes informales. Durante la implementación de programas de concientización sobre los peligros y riesgos a la comunidad, se han identificado a estos líderes dentro del sector educativo (profesor, maestra), sector religioso (monjas, párrocos, etc.), sector comercial (tenderos) y sector médico (doctores, enfermeras y sobre todo las parteras, en el caso de las comunidades más humildes).
- El mensaje debe ser preparado y difundido por la misma comunidad, con sus recursos e ingenio, ya que son ellos mismos los que conocen sus hábitos y costumbres.
- La manera más efectiva de lograr la penetración del contenido del mensaje y su efectividad en la implementación ante el peligro, es a través de niños y sobre todo de los escolares.
- Los programas de difusión dirigidos hacia la comunidad suelen ser más efectivos cuando son elaborados por las mujeres de la misma comunidad.
- Las mujeres de la comunidad, por lo general, son las más interesadas en que los programas tengan éxito y continuidad.

Otro de los puntos importantes es el relacionado con el análisis e interpretación de los diferentes peligros y riesgos a los cuales está expuesta la población. Las comunidades requieren únicamente de información básica de cada uno de los peligros y de los posibles efectos que estos fenómenos pueden llegar a causar tanto a sus familiares como a sus bienes, por escasos que éstos sean.

Los elementos básicos que cada comunidad analiza para poder identificar y definir el peligro real al que están expuestos son los siguientes:

- ¿El peligro puede evitarse?
- ¿Puedo perder mis pertenencias?
- ¿Alguno de mis familiares puede salir afectado?
- ¿Cómo puedo evitar un daño mortal?
- ¿Qué apoyo puedo llegar a recibir?
- ¿En qué zonas puede realmente estar segura mi familia?

Después de realizar el análisis anterior, los integrantes de las familias que conforman una comunidad, inician un proceso de aceptación de la presencia del peligro y el riesgo, tratando de minimizar su impacto.

La situación anterior, permite que la comunidad inicie un proceso mediante el cual se establece una estrategia para la protección de sus integrantes y de sus propiedades. Es en este momento cuando los integrantes de la comunidad identifican y aceptan el riesgo real al cual se encuentran expuestos, reconocen sus limitaciones y comienzan a establecer “cadenas de control y apoyo” para protegerse mutuamente.

Los esquemas que la comunidad implementa de común acuerdo entre todos sus líderes informales, contemplan los siguientes fundamentos:

- Mi comunidad es vulnerable a este peligro.
- Si el fenómeno estudiado se presenta, puedo llegar a perder mis bienes y en caso extremo la vida.
- Cuando el fenómeno natural o tecnológico se presente, debemos estar preparados para dirigirnos a un lugar seguro.
- Los puntos de reunión y de seguridad son los identificados por los mismos habitantes, tomando en cuenta las asesorías de externos.
- La comunicación de la presencia de un evento crítico, debe ser de acuerdo a nuestros medios y recursos (campana de la iglesia, sirena de la escuela, señal luminosa, etc.).
- La preocupación de los habitantes de una comunidad ante la presencia de un fenómeno es salvar la vida, en primer lugar; la segunda preocupación es proteger sus propiedades.
- Cuando se identifican correctamente las áreas de riesgo, son los integrantes de la comunidad los encargados de alertar preventivamente a los pobladores que por desconocimiento tratan de establecer sus viviendas en dichas zonas.
- Con información oportuna, capacitación especializada y acorde a las creencias y costumbres de la población, la comunidad puede aceptar que el peligro y los riesgos existen; por lo cual sí es posible lograr que los habitantes se alejen de las zonas de peligro.

Estas experiencias con varias comunidades, tanto en México como en América Latina y el Caribe, han demostrado la existencia de los siguientes corolarios, presentes en casi cualquier población:

- Las comunidades, por humildes que sean, generalmente ignoran sus peligros y riesgos, pero cuando son conscientes de la existencia de ellos y del posible impacto hacia sus personas y pertenencias, son las más comprometidas con sus programas de protección ciudadana.
- Por principio, ninguna comunidad desea instalarse en zonas de peligro, las necesidades y carencias los obligan, pero son capaces de relocalizarse cuando han identificado sus peligros.
- La clave para concientizar a toda la comunidad es a través de la capacitación de los niños.

Los puntos anteriores, deben ser tomados en cuenta por cualquier unidad de protección civil, con el fin de lograr que sus comunidades se alejen del peligro. El proceso no es sencillo, requiere de tiempo (se ha encontrado que un programa integral de concientización de la comunidad para que esté preparada y pueda actuar positivamente ante el peligro, es de aproximadamente 2 años).

Adicionalmente, es necesario tomar en cuenta que una vez iniciado el proceso de concientización de la comunidad, para que pueda actuar ante la presencia del peligro, no puede ni debe ser interrumpido, ya que se corre el riesgo de que la comunidad se sienta abandonada y más vulnerable, pues cuenta con información parcial de los peligros y riesgos, programas de atención de emergencias preliminares y una mínima capacitación. Lo anterior, permite en la mayoría de los casos, la manipulación de la información y el abanderamiento de intereses ajenos.

Las comunidades identifican primeramente sus amenazas de origen natural, como lo son las lluvias torrenciales, las inundaciones y los temblores. Esta parte debe de ser inicio de cualquier programa dirigido hacia la concientización de la comunidad, ya que fácilmente se acepta la manifestación de la naturaleza.

Este programa suele llevarse a cabo durante 12 a 14 meses. Con lo anterior se tienen los primeros planos con los datos de la localidad más vulnerable.

Los peligros de origen tecnológicos, deben ser evaluados una vez que la comunidad se encuentra integrada en pequeños comités funcionales.

El iniciar el proceso de capacitación de la comunidad en sentido inverso, es decir primero las amenazas tecnológicas y luego las naturales, es totalmente desaconsejable ya que normalmente resulta en la intranquilidad de toda la población. Dicha información normalmente es tomada para fines completamente ajenos al objetivo inicial que es proteger a la comunidad.

La concientización de las comunidades y el cuidado de las mismas por parte de las unidades de protección civil, deben ser una prioridad tanto para el municipio como para el estado y la federación. Sin embargo, hay que tener presente que, en la gran mayoría de los casos, las comunidades logran convivir con la industria, respetando mutuamente las distancias de seguridad en caso de la presencia de un accidente industrial.

El programa debe ser integrado y realizado por los tres sectores que se encuentran presentes en cualquier sociedad, “Gobierno, Industria y Comunidad”.

Cuando alguno de los sectores anteriores no participa o no se encuentra presente, los programas de concientización de la comunidad no tienen éxito o su permanencia en el tiempo es limitada.

2.5.4 Programas ambientales implementados por la comunidad

Algunos de los programas que las comunidades realizan con sus propios medios y con gran éxito, son los siguientes:

1.- Programas para disminuir la generación de basura

El problema de la generación de residuos sólidos es complejo y en la mayoría de los casos difícil de solucionar, por otro lado, la tendencia de las comunidades por invadir cualquier tipo de terreno para establecer su vivienda, es igualmente complejo de evitar.

Se ha mencionado en reiteradas ocasiones que la solución para poder resolver el problema de la basura, es la no generación de la misma.

Por otro lado, si se desea que la población no se encuentre expuesta a peligros y riesgos al estar ubicada cerca o en algunos casos, encima de los sitios destinados para la disposición de residuos sólidos, la solución sería evitar este tipo de asentamientos y en algunos casos llevar a cabo su reubicación.

Sin embargo, las tendencias actuales de globalización, el comportamiento de las poblaciones por tener mayor acceso al consumo y la estrategia de las comunidades marginales por invadir cualquier tipo de terreno disponible para ubicar sus viviendas y desarrollar la autoconstrucción, hacen imposible establecer las recomendaciones anteriores.

2.- Programas para la separación de basura

Todos los programas tienen como objetivo principal minimizar la cantidad de residuos generados tanto por la población en general, como por parte de los sectores industriales y comerciales, siendo la primera recomendación la separación de la basura en orgánica e inorgánica.

Basura Orgánica: es todo desperdicio alimenticio, como cáscaras y recortes de frutas y verduras, desperdicio de café, cáscaras de huevo, restos de alimentos y desechos de jardín como pasto y hojas, etc.

Basura Inorgánica: se clasifica normalmente en los siguientes segmentos:

- Papel y cartón: (periódico, revistas, cajas de cartón, etc.).
- Vidrio: (botellas, frascos, etc.).
- Plástico: (bolsas, envolturas, envases, etc.) Limpio y seco y para ahorrar espacio, cortar los envases de plástico rígido por la mitad
- Metal: (latas, tapaderas, corcholatas, etc.), aplanarlas para ocupar menos espacio.
- Sanitarios: (algodón, toallas sanitarias, gasas, pañales desechables, etc.). Se presentan en cantidades muy pequeñas y normalmente no son reciclables.
- Varios: (zapatos, madera, hule, trapos, pilas, aerosoles, etc.).

Otro tipo de programa de reducción en la generación de residuos sólidos es el implementado en las instituciones de educación en general.

3. -Programa de Reciclaje Escolar

Los objetivos de este programa son:

- Crear en los niños una actitud responsable hacia el medio ambiente y el impacto ambiental que implica la producción de basura.
- Reducir la generación de desechos sólidos.
- Lograr vender los desechos recuperados con el fin de obtener algún beneficio económico destinado a obras para la comunidad escolar.

Principales actividades son las siguientes:

Capacitación

Capacitar a los alumnos para realizar una eficiente separación y clasificación de los desechos sólidos.

Acopio y selección

- Establecer un Centro de Acopio Escolar.
- Separar los residuos en cuatro tipos de contenedores: papel, cartón, aluminio y plástico.
- Utilizar el residuo orgánico para la fabricación de composta.

Venta y recolección

La escuela venderá a los recicladores de la región el material que ha sido separado previamente.

Controles

Cada escuela nombrará un representante que:

a) Registre todas las entregas al centro de acopio y las cantidades de material almacenado.
b) Presente de manera gráfica los siguientes datos: volumen recolectado, volumen vendido y recursos obtenidos.

Composta

Todos los residuos orgánicos serán depositados en recipientes debidamente señalados para este fin, para su posterior traslado al lugar destinado, ya que es la base principal para la elaboración de la composta.

Evaluación

Realizar diferentes evaluaciones del programa, antes, durante y después de su implementación.

La escuela deberá de incluir en sus programas los siguientes parámetros de control:

- Cantidad del material recolectado,
- Qué tanto se involucró el profesorado y los alumnos de la escuela,
- Cuál fue el volumen de reducción de los residuos sólidos.
- Cuál es el volumen de residuos que la escuela logra vender a recicladores.
- Identificar si la escuela ha adquirido una filosofía de reducción de residuos.

GLOSARIO

Alícuota: es una parte proporcional de la muestra total, la cual está comprendida un número entero de veces en el todo.

Aromáticos: es una familia de hidrocarburos de tipo cíclico, de fórmula general CnH_{2n-6}, se caracterizan por integrar una cadena cerrada en forma hexagonal denominada anillo bencénico y poseer en su estructura tres dobles ligaduras.

Biota: término utilizado para definir a todos los organismos vivientes de una región.

Cromatografía de gases: es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la fase estacionaria que es una columna cromatográfica de gran área superficial, y la otra es la fase móvil, que es un gas el cual pasa a lo largo de la fase estacionaria. Mediante esta técnica es posible identificar y cuantificar diversas sustancias.

Espectrometría de masas: es una técnica analítica por medio de la cual las sustancias químicas se identifican separando los iones gaseosos en campos eléctricos y magnéticos. Esta técnica proporciona información cualitativa y cuantitativa acerca de la composición atómica y molecular de materiales inorgánicos y orgánicos. El espectrómetro de masas se emplea como un detector del cromatógrafo de gases.

Eutrofización: proceso natural y/o antropogénico que consiste en el enriquecimiento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, de manera que la descomposición del exceso de materia orgánica produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas. Sus efectos son proliferación de algas y un crecimiento intenso de las plantas acuáticas, tales como nitrógeno, fósforo

Halógenos: grupo de elementos químicos puros formado por el flúor, el cloro, el bromo, el yodo y el astato, componen el grupo VII A de la tabla periódica.

Hidrólisis: tipo de reacción química del agua con una sustancia.

Inmiscible: elemento o fase que no se mezcla con otra (agua y aceite)

BIBLIOGRAFÍA

Cortinas de Nava C., "*Manual 2; Contaminación por Residuos: Prevención y remediación*", México, 2002.

Canadian Council of Ministres of the Environment (CCME) The National Contaminated Sites Remediation Program, "*Guidance Manual on Sampling, Analysis and Data Management for Contaminated Sites Volumen I: Main Report"* Report CCME EPC-NCS62E, diciembre1993.

Comisión Nacional del Agua (CNA) *"Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales"***.** SEMARNAT, México, 2004.

Committee on Restoration of Aquatic Ecosystems, *"Restoration of Aquatic Ecosystems"*, Science, Technology, and Public Policy, National Academy Press, Washington D.C., 1992.

Enviromental Protection Agency (EPA), "Guidances for Performing Site Inspections Under CERCLA", Interim Final, EPA540-R-92-021, Washington D.C., septiembre 1992.

Escobar J., *"La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar"*, CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile, diciembre 2002.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (FEA), Centro Mexicano de Derecho Ambiental A.C. (CEMDA), *"El Agua en México"*; Editores Presencia Ciudadana Mexicana, 1era. edición, México, 2006.

Izcapa Treviño C.,"Lineamientos generales para la evaluación de sitios contaminados y propuesta de acciones para su restauración", CENAPRED, diciembre 2001.

Mason C. F., "*Biología de la contaminación del agua dulce*", Editorial Alhambra, España, 1984.

Tudela F., "*Los síndromes de sostenibilidad del desarrollo, El caso de México*". CEPAL Naciones Unidas, Santiago de Chile, julio, 2004.

Ontario Ministry of Environment and Ecology (OMEE), "*Rationale for the Development and Application of Generic Soil, Groundwater and Sediment Criteria for Clean-up of Contaminated Sites –Draft-"*, mayo 1994.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), *"Curso de autoinstrucción: metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados"*, en www.cepis.ops-oms.org

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), *"Evaluaciones Ambientales Integrales en Ciudades de América Latina y el Caribe"*, DEAT – ORPALC, México, febrero 2006.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), *"Identificación y Evaluación de Riesgos en una Comunidad Local"*, UNEP IE/PAC, Francia, febrero 1992.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), *"Proceso APELL"*, UNEP ORPALC, Francia, mayo 1986.

Procuraduría Federal de Protección del Ambiente (PROFEPA), *"Emergencias Ambientales en México"*, Dirección de Emergencias Ambientales, 2004.

Salazar V. S., *"Contaminación Marina"*, Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Fondo de Publicaciones y Ediciones, Gobierno de Quintana Roo, 1991.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Norma oficial mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 *"Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación"*.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Proyecto de norma PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 *"Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio"*.

Wagner T., *"Contaminación, Causas y Efectos"*, Editorial Gernika, México 1996.

Páginas de internet

http://www.cepis.ops-oms.org/tutorial3/e/capitulo3/index.html, 2006

http://cna.gob.mx, 2006

http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx, 2006

http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/MarcoNormativo/Leyes/DOF29Abr04Decretoderogan.pdf, 2006

http://www.economia-noms.gob.mx/, 2006

http://gtz.org.mx , 2006

http://www.ine.gob.mx, 2006

http://www.pemex.com, 2006

http://www.salud.gob.mx/, 2006

http://semarnat.gob.mx, 2006

III. ESTIMACIÓN SIMPLIFICADA DE LA AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

Edgar Arturo Muñoz, Lucrecia Torres, Oscar Zepeda, Erandi Andrade y Liliana López

RESUMEN

Esta metodología presenta un modelo simple para la evaluación de la amenaza por incendios forestales. Se describen las características generales del fenómeno, definiendo conceptos básicos y las variables con las que se determinará un índice de peligro por incendios forestales.

El índice de peligro medirá la condición latente existente en un lugar para la generación de incendios forestales. En términos prácticos este indicador no representa una probabilidad de ocurrencia, valorada por una intensidad y un periodo de retorno, sino una mayor o menor posibilidad de incendios forestales.

El desarrollo del modelo original implica el estudio puntual de tres componentes: combustibles forestales, condiciones meteorológicas y el entorno socioeconómico. Para la obtención del índice, se realiza un análisis espacial, se integran estas componentes y se obtienen mapas de amenaza para un periodo dado y una zona de interés específica.

En esta metodología se establecen los factores que determinan la posibilidad de inicio de un incendio forestal, será en otras metodologías posteriores donde se modele su propagación y se establezcan los pasos para identificar el grado del riesgo de desastre por este fenómeno.

OBJETIVOS

Estimar de manera simplificada el nivel de amenaza por incendios forestales, a través de una metodología que pueda ser aplicada fácilmente por las unidades estatales y municipales de protección civil.

Determinar y calcular las principales variables que caracterizan los incendios forestales por medio de procedimientos sencillos: trabajo en campo, recopilación de información meteorológica e integración de datos obtenidos a partir de cartografía e información geoestadística.

3.1 INTRODUCCIÓN

Para entender los incendios forestales es necesario describir algunos términos y conceptos básicos. Asimismo, se deberán establecer las variables que determinan los modelos físico-matemáticos, y que caracterizan el fenómeno así como la evaluación de su impacto.

3.1.1 Definiciones y conceptos básicos (CENAPRED)

3.1.1.1 Conceptos básicos

A continuación se presentan conceptos básicos que definen este fenómeno perturbador:

- *Fuego:* Proceso de oxidación de un material combustible, con desprendimiento de calor, luz y gases. El fuego es la manifestación visual de la combustión del material que está siendo consumido.
- *Cuerpo:* Toda materia vegetal, viva o muerta, comúnmente llamada combustible forestal.
- *Combustible:* Cualquier sustancia o material ubicado en el campo, susceptible de encenderse y que reacciona con el oxígeno de forma violenta, produciendo calor, llamas y gases.
- *Combustión:* Reacción química que surge de la combinación de combustible, oxígeno y una temperatura de ignición. Esta reacción modifica la composición del material, consume el oxígeno y genera altas temperaturas que encienden nuevos materiales. El producto de esas reacciones puede incluir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y cenizas.
- *Ignición:* Es el inicio de la combustión de un material.

3.1.1.2 Tipos de incendios

Están determinados principalmente por el tipo de combustibles y se establecen tres clases:

- *Incendio de copa, de corona o aéreo*. Afecta gravemente los ecosistemas, pues destruye la vegetación y daña la biodiversidad.
- *Incendio superficial*. Afecta principalmente pastizales y vegetación herbácea que se encuentra entre la superficie terrestre y hasta 1.5 metros de altura. Deteriora gravemente la regeneración natural y la reforestación. Este tipo de incendios es el más frecuente en México.
- *Incendio subterráneo*. Se propaga bajo la superficie del terreno; afecta las raíces y la materia orgánica acumulada en grandes afloramientos de roca. Se caracteriza por no generar llamas, provocando un poco de humo.

Figura 3.1 Tipos de incendios forestales

3.1.1.3 Etapas de los incendios forestales

Un incendio forestal se produce cuando el fuego tiene un efecto perturbador sobre combustibles vegetales naturales, cuyo evento no había sido previsto.

Para que se genere un incendio es necesario que existan y coincidan tres elementos, como se observa en la figura 3.2.

- Calor, que puede propagarse por conducción, convección y radiación.
- Oxígeno.
- Combustibles, de tipo vegetal, químico o de cualquier otro.

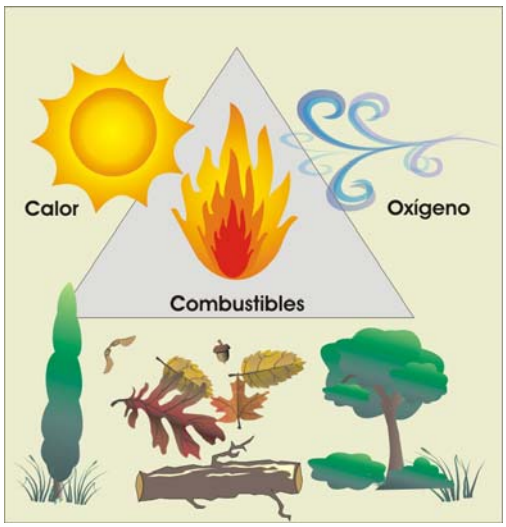


Figura 3.2 Triángulo del fuego

Una vez que se ha generado una ignición provocando un incendio forestal, su propagación depende de las características del sitio, tales como tipo de material combustible, pendiente del terreno, velocidad y dirección del viento, temperatura y precipitación.

Durante un incendio forestal ocurren diferentes procesos de *combustión* que para su estudio se dividen en tres etapas:

- *Precalentamient*o. Inicia cuando el material combustible se localiza cerca de una fuente de calor; ésta puede ser una llama, ceniza o la propia incidencia del sol. El calor generado consume la humedad del material combustible. En esta etapa se generan temperaturas de entre 100 y 200 °C, además de la presencia de algunos hidrocarburos gaseosos sin presencia de llamas.
- *Combustión de gases*. Inicia cuando la temperatura oscila entre 300 y 400 °C, se caracteriza por la presencia de llamas sobre el material combustible, desprendiendo gases, así como humo, conformado por anhídrido carbónico y vapor de agua. La temperatura seguirá elevándose hasta alcanzar un rango entre los 600 y 1,000 °C.
- *Combustión de carbón.* Caracterizada por la quema de madera a una alta intensidad calorífica con poco desprendimiento de humo, se producen cenizas y minerales que no arden.

3.1.1.4 El peligro y riesgo por incendios forestales

Algunos autores han presentado distintas definiciones sobre peligro y riesgo por incendios forestales, a continuación se presentan algunas.

Peligro

- Cualquier situación, proceso o condición que puede causar fuego o proporcionar una fuente de combustible lista para aumentar la extensión o la intensidad del fuego y que plantea una amenaza a la vida o al ambiente. (National Fire Protection Asociation, NFPA, 1997).
- Es la probabilidad de ocurrencia de un incendio con cierta intensidad, que ocurre en un periodo dado y que está relacionado con las características del entorno fisiográfico y socioeconómico de una región específica.

Sistema expuesto

- Considerado como el área de vegetación, cultivos, infraestructura, el número de personas o especies animales que se encuentren en un sitio específico y que son factibles de sufrir daño.

Vulnerabilidad

- Se define como la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un incendio forestal, es decir el grado de pérdidas esperadas.

Riesgo

- Es la pérdida probable debida a un incendio forestal y que puede ser calculada por el valor directo o indirecto de los recursos forestales, agrícolas y ganaderos entre otros, que se pierden debido a la intensidad del fuego.

En el análisis de peligro y riesgo por incendios forestales, se puede considerar a la vegetación como una variable implícita en la vulnerabilidad y en la determinación del nivel de peligro. Por ejemplo, una mayor densidad de vegetación aumenta la posibilidad de afectación del sistema expuesto (vulnerabilidad) y adicionalmente el nivel de peligro se determina entre otras cosas por la carga de material combustible, de ahí que la vegetación cumpla un doble rol en el estudio del fenómeno.

Para determinar la temporalidad de los incendios forestales, es necesario contar no sólo con registros meteorológicos y de incendios recientes, sino también los patrones históricos presentes antes de la influencia del manejo de los ecosistemas y de otras actividades humanas (Villers, 2004). De acuerdo con las estadísticas se ha determinado que el periodo de ocurrencia de incendios forestales en México comienza en enero y termina en agosto.

3.2 ESTUDIO Y MONITOREO DE INCENDIOS FORESTALES

En México existen instituciones que llevan a cabo estudios e investigaciones de peligro y riesgo sobre incendios forestales, actividades de monitoreo y alertamiento, así como la atención y combate de este fenómeno. En la tabla 3.1, se presentan las actividades sustantivas que desempeña cada institución con relación a los incendios forestales.

Tabla 3.1 Instituciones y actividades sustantivas

Institución	Instancia	Actividades
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)	Desarrolla, favorece e impulsa las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como la participación en la formulación de planes y programas, y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)	Dirección General de Gestión Forestal y de Suelos	Diseñar, establecer, conducir y apoyar la aplicación de políticas en materia forestal, para el aprovechamiento sustentable, conservación, protección y restauración de los ecosistemas forestales mediante el manejo integral de cuencas que asegure el desarrollo de la sociedad, valorizando los servicios ambientales.
	Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO)	Desarrolla el programa de puntos de calor mediante técnicas de percepción remota.
	Servicio Meteorológico Nacional (SMN)	Detecta y da seguimiento a los incendios forestales en México a través del satélite meteorológico Goes-12.
Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGARPA)	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)	Lleva a cabo actividades de investigación y desarrollo aplicado que generan conocimiento de las características de ecosistemas forestales y de factores ambientales y antropogénicos que los impactan.

Un elemento importante en el estudio y evaluación de los incendios tiene que ver con el uso de técnicas modernas para el monitoreo y seguimiento de este fenómeno, principalmente la percepción remota. En la actualidad se han desarrollado algoritmos que permiten generar sistemas automatizados para la obtención de índices de peligro, puntos de calor, y seguimiento del fenómeno. A continuación se presentan algunos de éstos.

3.2.1 Sistema de información de incendios forestales (SEMARNAT)

Este sistema determina el índice meteorológico de peligro por incendios forestales (IMP) y puede ser consultado a través de la página *http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/index.html*, es elaborado por el Sistema Canadiense de Evaluación del Peligro de Incendio Forestal, y proporciona una evaluación del potencial relativo del incendio basado en cinco variables: índice de humedad del combustible, índice de humedad del humus, índice de sequía, índice de propagación, e índice de consumo. En la página web mencionada, se pueden consultar mapas temáticos diarios sobre las siguientes variables: temperatura, velocidad del viento, precipitación, velocidad de propagación, tipo de incendio, entre otras. También se pueden consultar mapas históricos, disponibles desde 1999, con el fin de establecer tendencias o llevar a cabo análisis estadísticos.

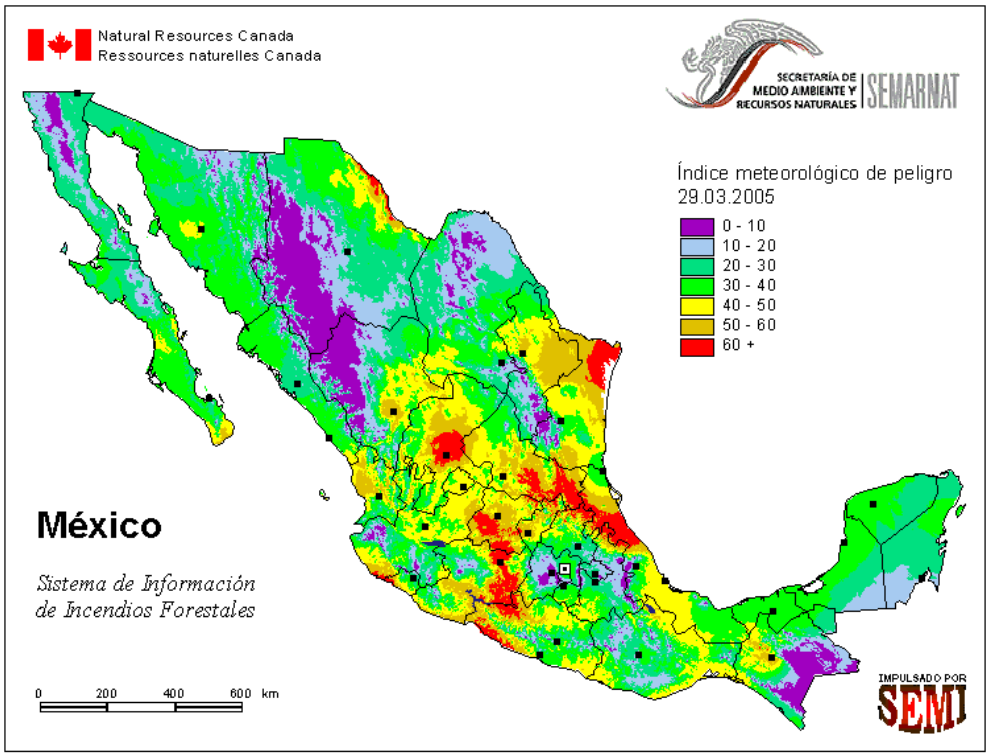


Figura 3.3 Mapa de índice meteorológico de peligro a nivel nacional (SEMARNAT, 2005)

3.2.2 Programa para la detección de puntos de calor (CONABIO)

Los daños provocados por los incendios forestales de 1998 tuvieron grandes repercusiones en las zonas naturales de México. En respuesta a esta problemática, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), realizó el estudio denominado "Los incendios en México un análisis de su amenaza a la biodiversidad", derivado de este estudio, se inició un proyecto que monitorea áreas que presentan altos niveles de calor con el fin de detectar zonas que presentan incendios forestales, empleando la técnica denominada puntos de calor.

Un punto de calor es cualquier fuente que puede ser detectada por un sensor (satélite) y que oscila entre los 25 ºC y 32 ºC. Los puntos de calor pueden ser provocados por incendios, quemas agrícolas, suelos calentados por el sol, grandes chimeneas, llamas de gas en pozos petroleros, volcanes activos, etc. (CONABIO).

El sistema desarrolla diferentes productos como: mapas diarios de puntos de calor, índice de propagación de incendios, índice de vegetación e información tabulada para cada uno de los puntos de calor detectados.

Desde 1999 y hasta la fecha el programa se ha mantenido activo y puede ser consultado en la página *http://conabio.gob.mx/conocimientos/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html*.

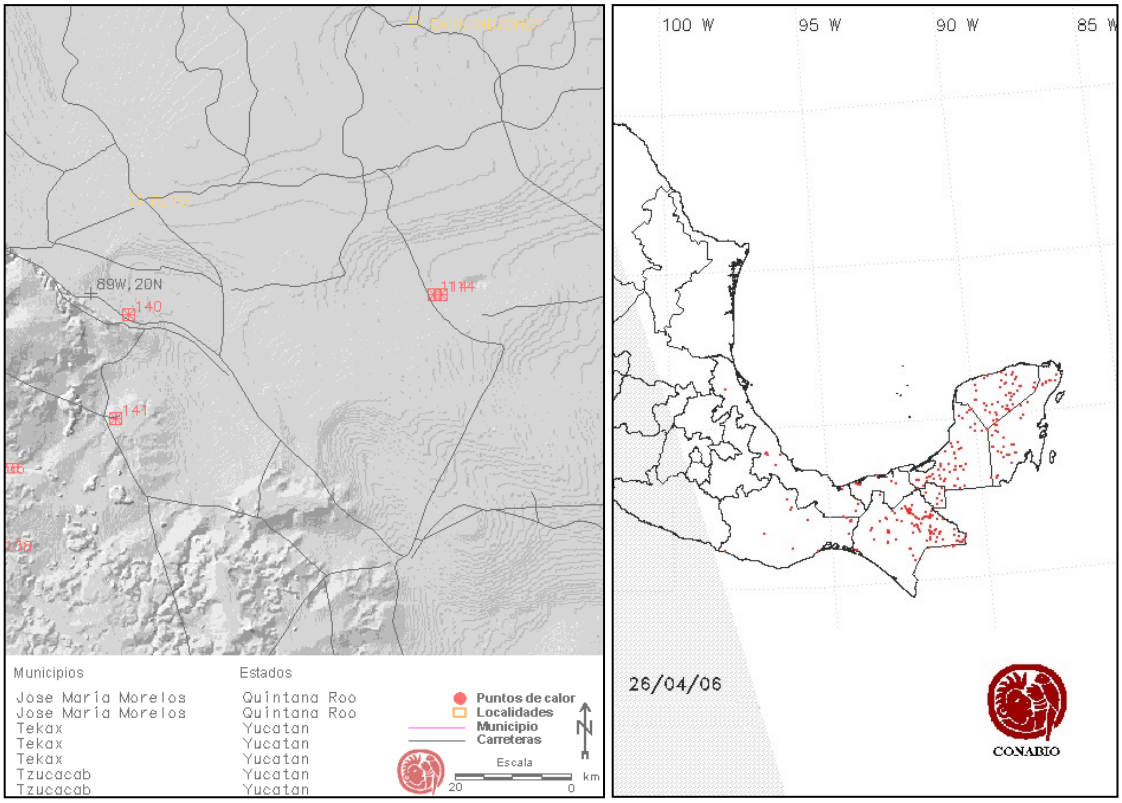


Figura 3.4 Mapas de puntos de calor en el territorio nacional (CONABIO, 2006)

3.2.3 Sistema para la detección y seguimiento de incendios forestales (SMN)

El Servicio Meteorológico Nacional incursionó desde 1998 en la detección y seguimiento de los incendios forestales a través de imágenes del satélite GOES-12. El sistema puede ser consultado en la página *http://smn.cna.gob.mx/*, en el se presentan animaciones de imágenes Goes-12 visibles e infrarrojas, información temática y los incendios detectados en las últimas horas.

3.3 VARIABLES QUE DETERMINAN LA AMENAZA DE UN INCENDIO FORESTAL

La información obtenida de los sistemas anteriormente mencionados deberá ser utilizada por parte de los estados y municipios con la finalidad de conocer el nivel de peligro que existe en una determinada zona. Sin embargo se debe considerar que la escala en la que está representada la información, muchas veces no permite establecer de manera exacta el nivel de peligro para áreas reducidas como municipios o localidades.

Se recomienda a quien elabore los estudios sobre incendios forestales, qué adicionalmente integre información de tipo estadístico sobre las áreas afectadas, la evaluación de los daños y número de eventos, a través de una recopilación histórica sobre los principales incendios forestales registrados en la zona de estudio. Resultará indispensable contar con datos de las estaciones meteorológicas cercanas.

Un primer nivel de análisis de la amenaza se logra con la integración de datos generales, para tal fin se propone que personal de protección civil elabore un cuestionario como el que se presenta en la tabla 3.2. En el se pide determinar una serie de variables que definen la conformación fisiográfica y socioeconómica del área de interés, ya que a través del cuestionario, se puede tener una primera aproximación a las causas que influyen en la generación de los incendios forestales.

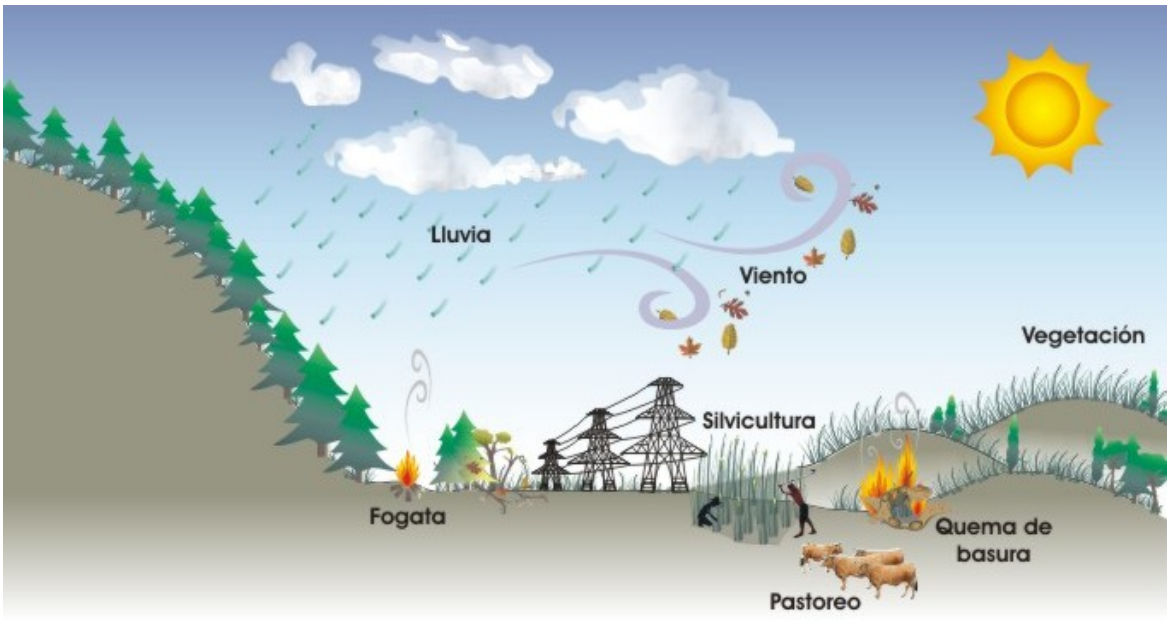


Figura 3.5 Variables que intervienen en la determinación de la amenaza por incendios forestales

El segundo nivel de análisis será el modelo que presentan estas metodologías, en el cual las variables que requieren de análisis y cuantificación son:

Gravedad específica: Es la relación que guarda la densidad de una sustancia con respecto a la del agua. La gravedad específica de cualquier sustancia es numéricamente igual al valor de su densidad expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). Es un número absoluto, adimensional y se representa con las letras ***Gs***.

Tabla 3.2 Variables que intervienen en los incendios forestales

Aspectos Meteorológicos								
Humedad relativa (%)	Porcentaje		Comentarios u Observaciones					
Velocidad del viento km/h	0 - 26	27 - 65	66 - 104	> 104	Comentarios u Observaciones			
Dirección del viento	N	S	E	W	NE	NW	SE	SW
Presencia de cambios bruscos de viento	Si		No		Comentarios u Observaciones			
Tipo de clima *	Af	Am	Aw	BS	BW	Cf	Comentarios u Observaciones	
	Cw	Cs	Df	Dw	ET	EF		
Combustible								
Vegetación de la zona	Pastizal	Selva	Bosque	Matorral	Agricultura	Comentarios u Observaciones		
La vegetación se encuentra	Seca	Húmeda	Comentarios u Observaciones					
% de humedad del material combustible (forestal)	0 - 25	25 - 50	50 - 75	75 - 100	Comentarios u Observaciones			
Cantidad de material forestal**	< 5 mm diámetro			5 - 25 mm diámetro			25-75 mm diámetro	>75 mm diámetro
	Pastos	Hojarascas	Acículas	Ramas	Tallos	Arbustos	Árboles c/ramas	Árboles c/ramas gruesas
Presencia de Combustibles en el suelo	Veg. seca	Papel/cartón	Combustible	Comentarios u Observaciones				
Terreno								
Aspecto del terreno	Plano	Ondulado	Escarpado	Comentarios u Observaciones				
Pendiente del terreno (Grados)	0-25	25-50	50-75	75-90	Comentarios u Observaciones			
Pendiente del terreno (%)	0-25	25-50	50-75	75-100	Comentarios u Observaciones			
Existen zonas cercanas con mayor altitud	Si - No	Colinas	Cerros	Montañas	Comentarios u Observaciones			
Ubicado en ladera	Si - No	Orientación: N	S	E	O	Comentarios u Observaciones		
Factores socioeconómicos								
Pastoreo		Silvicultura		Quema Basura/agrícola		Turismo		Densidad de vivienda
Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	(viviendas/km²)
Desperdicios de aserraderos		Líneas eléctricas		Fogatas		Comentarios u Observaciones		
Si	No	Si	No	Si	No			

*** Climas:**

A	El mes más frío tiene una temperatura superior a los 18 ºC
Af (Tropical con lluvias todo el año)	El mes más seco tiene precipitación mayor a 600 mm de lluvia
Am (Monzónico)	En el mes más seco caen menos de 600 mm de lluvia
Aw (Sabana)	Por lo menos hay un mes en el que caen menos de 600 mm de lluvia
B	La evaporación excede las precipitaciones. Siempre hay déficit hídrico
BS (Seco estepario)	Clima árido continental
BW (Seco desértico)	Clima árido con precipitaciones inferiores a 400 mm
C	Temperatura media del mes más frío es menor de 18 ºC y superior a -3 ºC y al menos un mes la temperatura media es superior a 10 ºC
Cf (Templado con lluvias todo el año)	Las precipitaciones del mes más seco son superiores a 300 mm
Cw (Templado con lluvias en verano)	El mes más húmedo del verano es diez veces superior al mes más seco del invierno
Cs (Templado con lluvias en invierno)	La precipitación del mes más seco del verano es inferior a 300 mm y la del mes más lluvioso del invierno, tres veces superior
D	La temperatura media del mes más frío es inferior a -3 ºC y la del mes más cálido superior a 10 ºC
Df (Frio con lluvias todo el año)	No hay estación seca
Dw (Frio con lluvias en verano)	Con una estación seca en invierno

**** Cantidad de material forestal:**

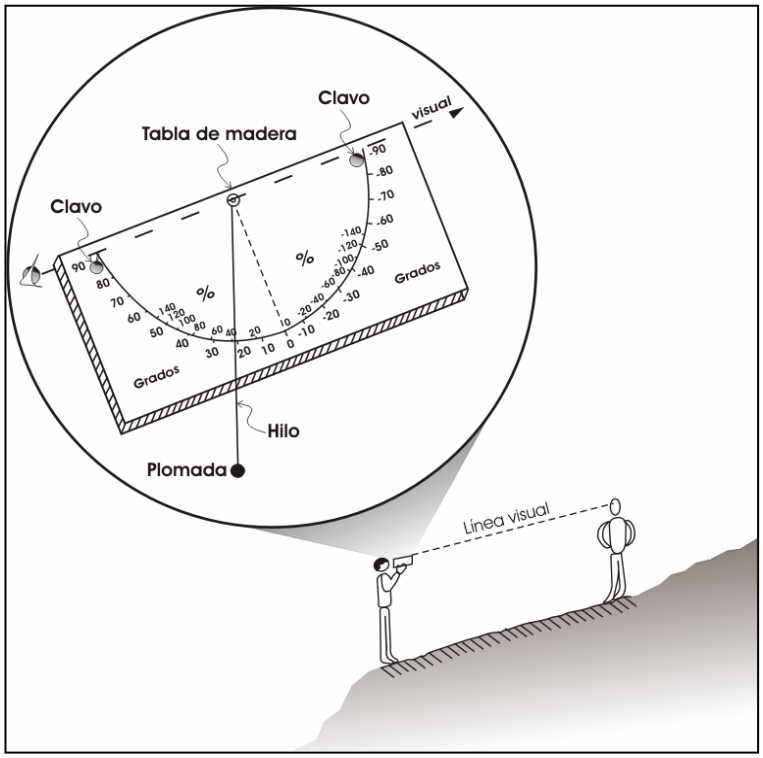
La cantidad de material forestal se podrá calcular a partir de una visita a campo, con un muestreo de la zona. En un área determinada se deberán recoger los materiales encontrados, como ramas, hojas, troncos, El material recogido se deberá expresar en kg/m². También se puede expresar en porcentajes, en donde todo el material recogido es el 100% y a partir de ahí se cálcula el porcentaje de cada tipo de material enco

Pendiente: Indica la relación que existe entre una distancia vertical y otra horizontal; también llamada tangente, y se expresa en porcentaje o en grados. Se puede medir en campo con instrumentos como el clinómetro o el clisímetro, y de manera aproximada si se conoce la diferencia de alturas entre dos puntos del terreno.

Obtención de la pendiente en campo

Material: tabla de madera, transportador, lápices, colores, clavos, plomada e hilo.

Construcción de herramienta: se requiere colocar el transportador sobre la tabla donde se trazará su contorno, en el lugar justo donde el transportador indique 90°, se indicará el cero dibujando una marca en este punto y de la misma forma a cada 10°, hasta cubrir todo el contorno delineado, de esta forma quedarán marcas de 0º a 90º en ambos sentidos, como se muestra en la figura 3.6.



Grados	%
0	0
6	10
11	20
17	30
22	40
27	50
31	60
35	70
39	80
42	90
45	100
48	110
50	120
52	130
54	140
56	150

Figura 3.6 Determinación de la pendiente en campo y su equivalencia entre grados y porcentaje de pendiente

En el origen del transportador se debe colgar un hilo resistente con algún objeto pequeño, lo suficientemente pesado para que pueda servir como plomada. En los 90°, de ambos lados de la escala, se pondrán dos clavos.

Medición: Se colocarán dos personas con una distancia de separación de 20 m sobre el terreno, se recomienda que las dos personas tengan una estatura similar. Posteriormente quien realice la medición, alineará sobre una línea visual, los dos clavos con los ojos de la persona ubicada a los 20 m, se dejará libre la plomada, una vez estabilizada se sujetará. El hilo cruzará el

contorno delineado, indicando la medida de la pendiente. En caso de que la persona que ayudará como referencia, sea más alta y los ojos de quien tomará la medida se encuentren a la altura de sus hombros, entonces la alineación será con los clavos y los hombros.

Orientación de la pendiente (*op*): Se define como la dirección que sigue la línea de un punto de mayor altitud a uno de menor y se puede determinar a través de un mapa topográfico, trazando una línea desde el punto más alto hasta el punto más bajo indicado por las curvas de nivel, ubicando la dirección de esta línea con respecto a los puntos cardinales del mapa; como se puede observar en la figura 3.7. La dirección de la pendiente se obtiene al seguir la orientación que tienen las curvas de nivel, desde la curva más baja hasta la más alta.

Temperatura media máxima mensual (*tmm*): Es el promedio de las temperaturas máximas que se presentan en un mes, para un periodo está determinado por los años en que se tengan registros meteorológicos. Se expresa en grados centígrados.

Precipitación con distribución media normal mensual (*pmm*): Es el valor promedio (media) de una serie de datos sobre la precipitación que se presenta durante un mes y el posterior cálculo de la desviación estándar con respecto a la media. Se expresa en milímetros.

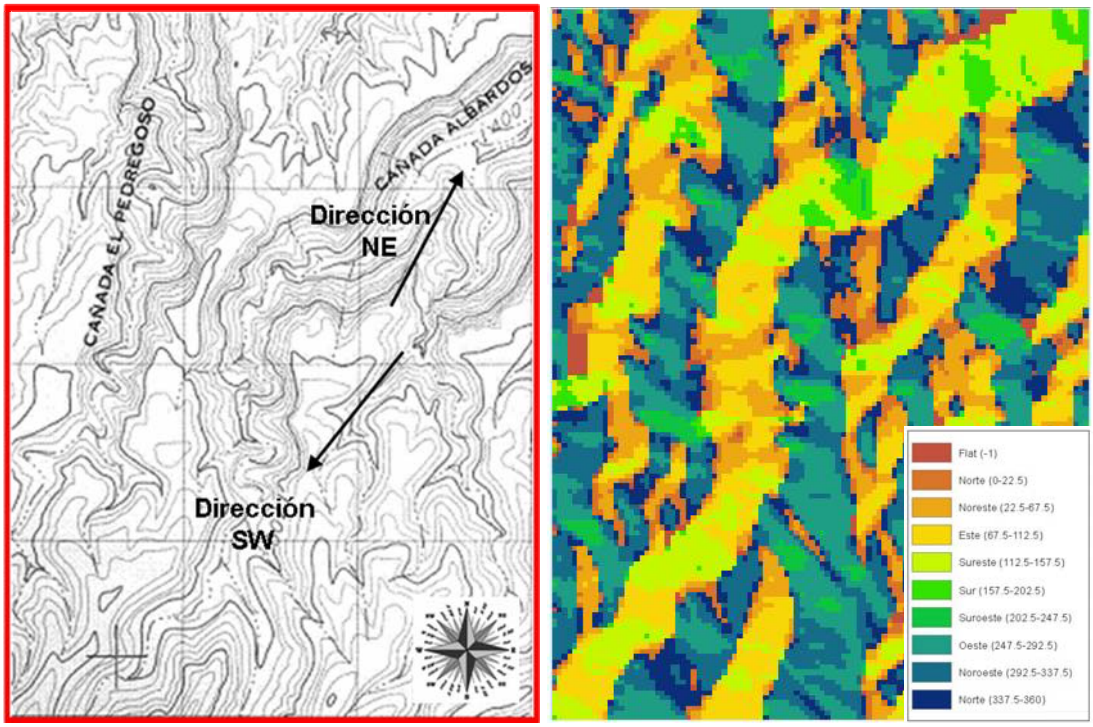


Figura 3.7 Determinación de la orientación de la pendiente

Aprovechamiento forestal: Son las actividades forestales que se desarrollan en una región; no sólo la producción de madera comercial, sino que consideran la importancia de los bosques para la conservación de la diversidad biológica y los productos no madereros, valores comerciales y servicios ambientales que éstos proporcionan. (Dykstra, 1996).

3.4 MODELOS EXISTENTES PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO

La ocurrencia de los incendios forestales no puede ser definida de una manera sencilla, sin embargo, cada vez existen más métodos y estudios que relacionan de diversas maneras las variables que intervienen en este fenómeno. Algunos modelos se apoyan en el uso de nuevas tecnologías para facilitar su análisis y evaluación, lo que requiere un mayor nivel de especialización por parte de los técnicos encargados de su estudio. En su mayoría los modelos están basados en el tipo y estado del combustible, en aspectos meteorológicos y principalmente en el comportamiento de agentes causantes, ya que la influencia humana en el origen de los incendios forestales es del 90%.

Existe una gran cantidad de bibliografía nacional e internacional sobre incendios forestales, que abarca diversos temas como el comportamiento de la vegetación ante el fuego, modelos de predicción y de evaluación, planes de prevención y determinación de índices entre otros. Se puede establecer que tanto en estudios realizados en otros países como también en México, existe una incertidumbre en la evaluación del peligro, debido a que el factor humano (actividades y presencia) influye en las condiciones que originan y propagan el fenómeno.

De forma general hay dos tipos de modelos para el estudio de los incendios forestales; los deterministas, los cuales suponen que la evolución de los incendios forestales está determinada por una serie de variables iniciales, y los estadísticos, que a través de la inferencia de datos numéricos, establecen relaciones entre los factores que intervienen y sus causas, con lo cual se pueden elaborar mapas de peligro.

Algunos de los modelos de predicción de incendios presentan cierta complejidad matemática en su análisis, tal es el caso de los modelos de regresión logarítmica (modelo Logit) y el de red neuronal artificial. Estos tipos de modelos, en algunos casos, son utilizados para determinar la probabilidad de incendio por la presencia y actividad de agentes de ignición, a través de la relación de variables temporales, meteorológicas y geográficas, con lo cual es posible obtener resultados que describen la distribución y variación del peligro en una zona de estudio, con una precisión de aproximadamente 79% para la regresión logarítmica y del 81% para las redes neuronales (tabla 3.3).

De los modelos analizados y de algunos estudios de caso consultados, se seleccionó uno simplificado y flexible que se adapta a las condiciones del país, ya que las variables que intervienen en su determinación se pueden calcular de forma sencilla y rápida. Además de considerar que las unidades de protección civil en muchas ocasiones no cuentan con equipo para realizar procesos complejos.

Tabla 3.3 Características de modelos para incendios forestales

No.	TIPO	MODELOS	VARIABLES	ESTIMACIÓN	FUENTE	CONSIDERACIONES	GRADO CONFIABILIDAD (según autor)
1	Combustible y Dispersión	Simulación del comportamiento del fuego con base en la estimación geoestadística de la variación espacial de combuistibles, José Germán Flores Garnica	Tipo, carga y humedad de los combustibles	Muestreo en campo y equipo especial para la humedad	Villers, R. L, López, B. J, (2004) "Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación", UNAM, Ciencias de la Atmósfera	ArcMacro Language de ArcInfo, 1996. Es necesario contar con el software para realizar la simulación. El texto no hace referencia a nigún cálculo específico	No presentan datos
			Fuerza y dirección del viento	Apoyo de estación meteorológica o anemómetro			
			Pendientes	Por medio de un modelo de elevación, interpolación co_Kriging, carta topográfica, estudios en campo			
			Tiempo de duración de la simulación	Cronómetro			
			Coordenada de punto de inicio	Ayuda de equipo GPS			
2	Peligro	Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre de México	Carga de combustible forestales	Muestreo en campo, técnica de intersecciones planares	Revista "Investigaciones Geográficas", Boletín del Instituto de Geografía, no.56, 2005	Las fuentes de datos para construir el modelo son de rápido acceso, proporciona una aproximación de áreas suceptibles a incendios forestales	No presentan datos
			Componente meteorológico integrando la temperatura media máxima mensual, precipitación total mensual	Datos de estaciones climatológicas (CNA), estimaciones en función de análisis de correlación con los datos de la estación más cercana			
			Componente de causa; mediante la evaluación de elementos socioeconómicos, rasgos geográficos, actividades humanas	Áreas sometidas a manejo forestal, distancia a vías de acceso y a poblados			
3	Metodologías Prácticas	Incendios Forestales - Dante Arturo Rodriguez Trejo	Humedad del combustible, tiempo de retardo, estado y peso, tamaño, forma, densidad	Horno o estufa, báscula	Rodríguez T. D, (1996), "Incendios Forestales", Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi- Prensa, México	Expone metódos sencillos para la determinación de ciertas variables	No presentan datos
			Pendiente	Medición en campo y cálculos matemáticos, clinómetro o clisímetro			
			Temperatura y humedad relativa	Probeta, termómetro			
			Velocidad y dirección del viento	Anemómetro, brújula			
4	Peligro Probabilístico	Modelo logit	Variables Temporales (humedad relativa, velocidad de viento y mes del año). Variables Geográficas (distancia a carreteras, a ciudades, áreas de acampar, combustibles, elevación, propiedad, valor comercial de la masa, tipo de combustible)	$\ln(Pi/1-Pi)=\beta o + \Sigma \beta jXij$	Vega, G. C, M. Woodard P, J. Titus S. (1999), "Dos modelos para la predicción de incendios forestales en Whitecourt Forest, Canadá". Investigación agraria. Sistemas de recursos forestales Vol. 8 (23 pp.)	Implica la probabilidad de ocurrencia de incedios forestales por causas humanas	79%
		Modelo de red neuronal backpropagation		Ayuda de equipo de cómputo			81%
5	Peligro Probabilístico	Método Regresión Logística, comparación con método de Red Neuronal	Superficie provincial bajo climas Bsh o Csa (con ecuación simple)	Mapas, o medición en campo	Universidad de Alcalá, (1997-98) Incendios Forestales, Serie Geográfica no.7 , capítulo "Evaluación de la estimación de grandes incendios forestales en la Cuenca Mediterránea Europea por redes neuroneles y regresión logística	La acertividad de la ocurrencia de incendios es del 76%, no es muy alta pero proporciona al modelo variables explicativas. Las variables son fáciles de obtener y la ecuación es muy sencilla; aunque se requieren varias extensiones de terreno para el muestreo	69.23%
			Diferencia de población en actividades del sector terciario entre 1960 y 1990	Estadísticas (INEGI),			
			Distancia a carreteras	Mapas, o medición en campo			
			% de población activa en 1990	Estadísticas (INEGI),			
			Superficie agrícola en 1990	Mapas, o medición en campo			
6	Índice de Riesgo	Determinación de un Índice de Riesgo	Análisis de estadísticas de incendios	Datos estadísticos CONAFOR	Alanis M. H, Orozco V. F, (2000), "Índice de riesgo de incendios forestales, en la región central del macizo boscoso de Chihuahua", INIFA P–SAGAR, Cd. Madera, Chihuahua	El programa IDRISI es utilizado para calcular las condiciones ambientales	60%
			Medición de cargas de combustibles	Metodología de Brown			
			Análisis de tipos de vegetación	Ayuda de cartas forestales y topográficas (SEMARNAT, INEGI)			
			Condiciones ambientales	Base de datos (SMN, CNA)			

3.5 DESCRIPCIÓN DEL MODELO SELECCIONADO

El modelo seleccionado es de tipo espacial (Muñoz R.C., *et al*, 2005), y considera los siguientes criterios:

1. *El modelo establece el nivel de peligro pre-incendio con una ecuación matemática simple.*

2. *Las variables que intervienen en el cálculo del modelo son determinables a través de trabajo en campo, datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y por medio de información geoestadística existente en el INEGI.*

3. *El resultado que arroja el modelo es un índice de peligro por incendios forestales (IPIF), determinado por un análisis multicriterio de las variables, con el que se establece una escala que normaliza sus valores.*

4. *Las variables que intervienen en el modelo son, material combustible, caracterización meteorológica de la zona y parámetros socioeconómicos que establecen la actividad humana en el área de estudio.*

5. *En el manejo de las variables que intervienen en el modelo, debe considerarse su temporalidad, ya que las componentes de tipo meteorológico y de carga de combustible, varían por mes y por época del año, lo que permite obtener un IPIF mensual o temporal, según se considere en el proyecto.*

En la figura 3.8 se presenta el diagrama de flujo del modelo que incorpora las actividades y procedimientos para la obtención del *IPIF*.

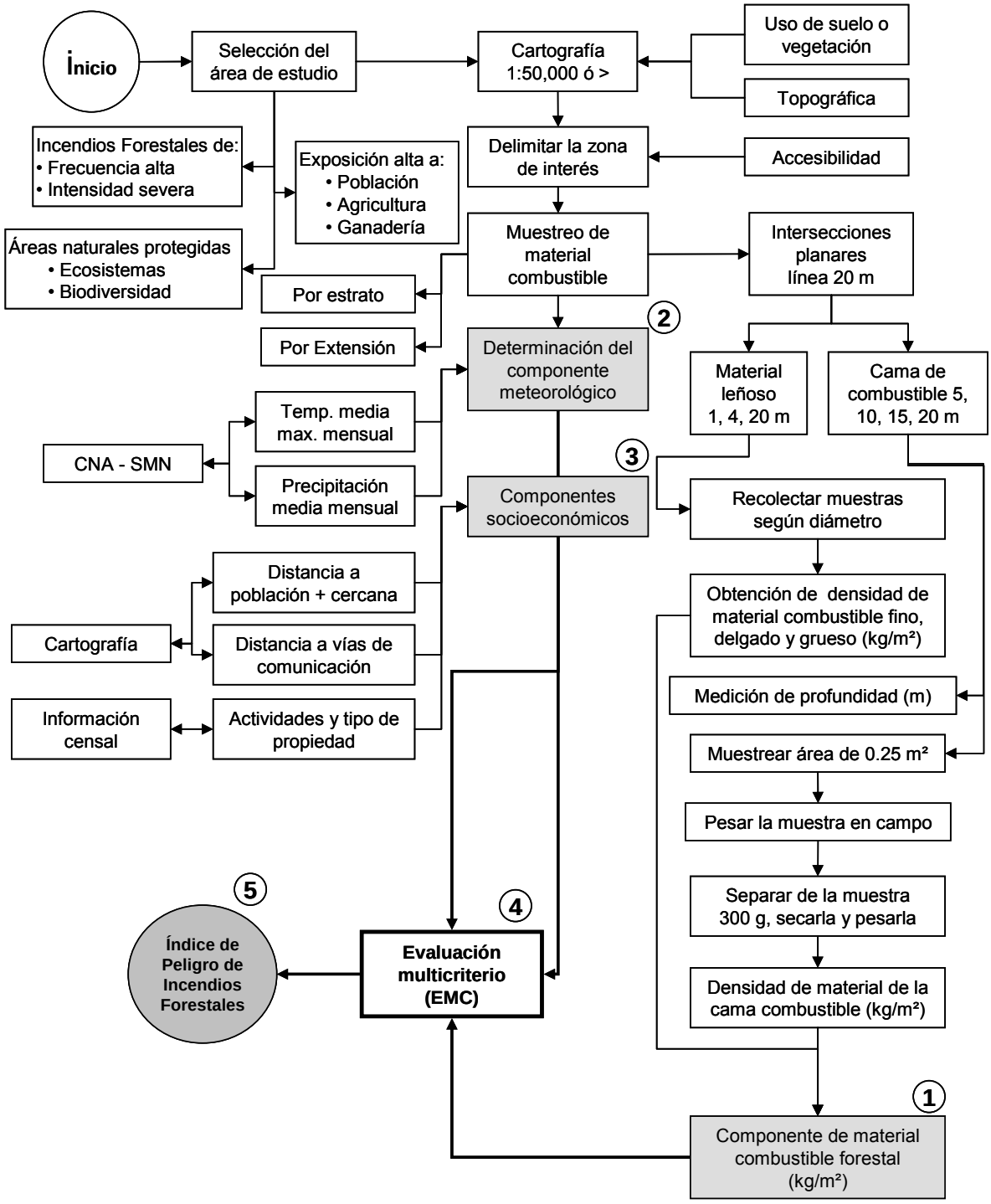


Figura 3.8 Diagrama de flujo de la conceptualización y descripción genérica del modelo

3.5.1 Determinación del área de estudio

El primer paso de la metodología consistirá en establecer la zona donde se llevará a cabo el estudio, se proponen los siguientes criterios.

- Zonas con incendios forestales frecuentes o con una intensidad severa.
- Lugares donde el valor sistema expuesto es alto, como pudiera ser la población.
- Regiones con actividades agrícolas, silvícolas, forestales y ganaderas.
- Áreas naturales protegidas donde exista exposición de los ecosistemas y la biodiversidad.

Para delimitar la extensión del área de estudio se propone utilizar las cartas *topográfica* y de *uso de suelo y vegetación* del INEGI, con escala de 1:50,000. Sobre ambas cartas se dibujará un recuadro en el cual esté contenida la zona de estudio, tal como se muestra en la figura 3.9. Posteriormente, se calculará el área de la zona por medio de la cuadrícula de la carta, donde cada una de las celdas representa una superficie de 1 km^2.

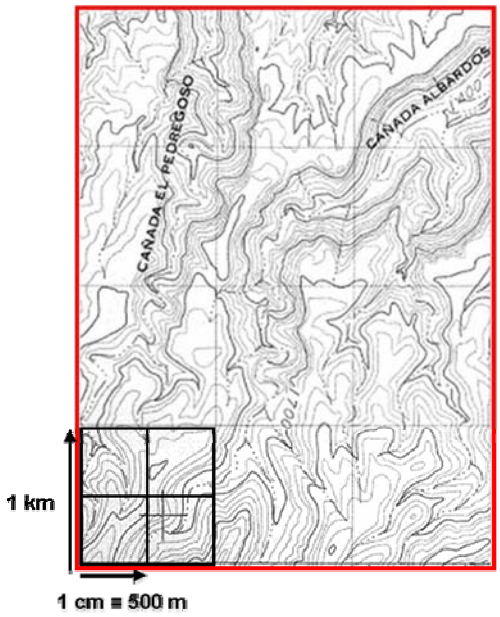
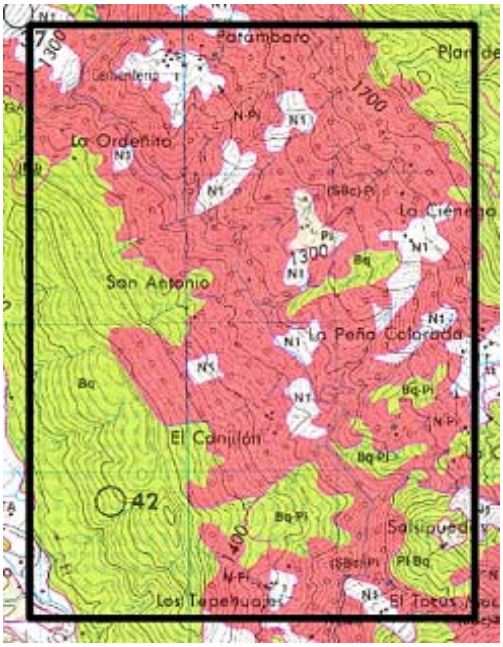


Figura 3.9 Zona de estudio establecida en un mapa topográfico, escala 1:50,000

Con la carta de uso de suelo y vegetación se determinarán los diferentes tipos de vegetación que existen en la zona de estudio, como se muestra en la figura 3.10, estas superficies de igual tipo de vegetación se denominarán *estratos*, para cada uno se estimará su área aproximada. Se puede presentar el área en km^2 o en hectáreas (ha), en la tabla 3.4 se presenta una tabla de equivalencia entre unidades de área.

Tabla 3.4 Equivalencia entre unidades de área

1 ha	10,000 m^2
1 km^2	1,000,000 m^2
1 ha	0.01 km^2
1 km^2	100 ha



Selva baja caducifolia	**SBc**
Pastizal inducido	**Pi**
Bosque de encino	**Bq**
Agricultura nómada	**N1**

Figura 3.10 Vegetación de la zona de estudio en un mapa de uso de suelo y vegetación (INEGI)

3.5.2 Determinación del componente de combustibles forestales (C_{CF})

Este componente se encuentra determinado por tres parámetros: carga de combustibles, compuesta por ligeros *(cl)* y pesados *(cp)*, cama de combustibles *(cc)* y su profundidad, también llamado profundidad del mantillo *(pcc).*

La determinación de estos parámetros deberá realizarse en el área de estudio por medio de un muestreo, aplicando la técnica de intersecciones planares (Van Wagner, 1982), como se explica a continuación.

1. Se deberá ubicar una línea de 20 m de longitud con una dirección definida aleatoriamente en la zona de estudio.
2. Para cada estrato se deberá llevar a cabo un muestreo.
3. Para superficies en donde un estrato sea mayor a una hectárea, deberán hacerse tantos muestreos como número de hectáreas se tengan.
4. Debido a que la carga de combustible va cambiando a lo largo del año, para el análisis de estas variables es necesario que se realicen muestreos por cada época del año, o si es posible cada mes, dependiendo de la época del año en que se realice el estudio.

En campo, se colocan dos estacas a 20 m, y se tiende un hilo cáñamo a una altura entre 30 y 50 cm, dependiendo de las condiciones del material forestal muerto. Posteriormente, sobre la línea de muestreo marcada por la cuerda, se marcarán las distancias a 1 m, 4 m, 5 m, 10 m, 15 m y 20 m, como se muestra en la figura 3.11.

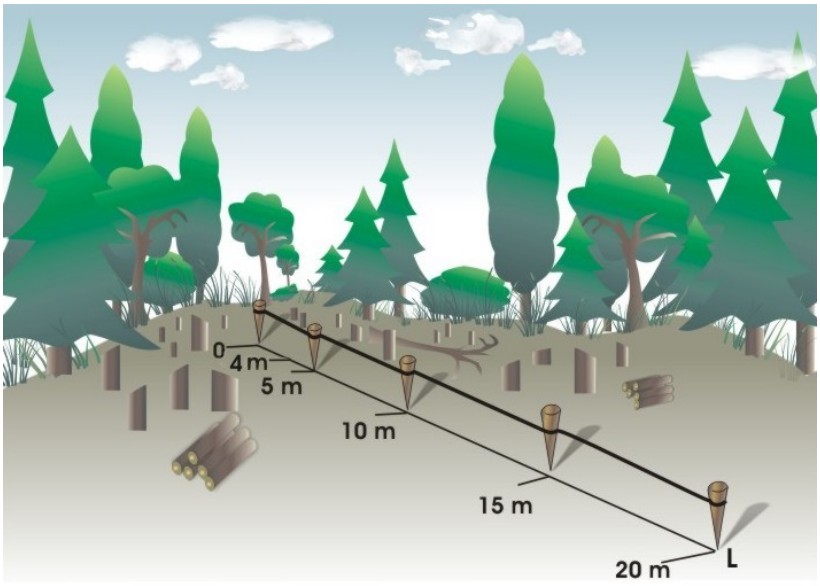


Figura 3.11 Línea de muestreo para la carga de combustibles

La carga de combustible forestal, se define como la relación existente entre el peso del material y la unidad de área expresada en kg/m^2 y depende de las siguientes variables:

- Diámetro del material leñoso; una descripción de los diferentes tipos se presenta en la tabla 3.5 y en la figura 3.12.
- Clasificación del tipo de vegetación, por ejemplo: pino, encino, oyamel, etc.
- Pendiente del terreno.
- Longitud de la línea donde se recolecta la muestra (L).

Para realizar el muestreo y las mediciones en campo, se recomienda llevar la siguiente herramienta: hilo cáñamo, cinta de medir con una longitud mayor a 20 m, bolsas de recolección o costales, pala, báscula, vernier o en su caso una regla transparente y brújula.

Tabla 3.5 Tipo de combustibles leñosos

Tipo	Diámetro (cm)	Características
Ligeros (***cl***)	0.1 - 2.5 (finos) 2.5 – 7.5 (medianos)	Constituido por ramillas muertas, también se conoce como combustibles finos y se acumulan por la caída natural o por el impacto del viento.
Pesados (***cp***)	>7.5	En este grupo se encuentran las ramas, tallos y troncos muertos caídos de forma natural o por efecto del viento, y por tala de árboles y arbustos. Su inflamabilidad está sujeta a su cantidad, tamaño, forma y humedad.

Figura 3.12 Tipos de material leñoso superficial

3.5.2.1 Cálculo de la carga de combustibles (combustibles ligeros y pesados)

Una vez en campo se recolectarán los datos que indica la tabla 3.5, para caracterizar los materiales combustibles del sitio, llevando un registro de las muestras obtenidas con el siguiente procedimiento:

A. Cuantificación de la cantidad de materiales finos y pesados que intersectan la línea de muestreo y que se encuentren depositados en el suelo.

a.1 Recolección de ramas y leña que tenga un diámetro entre 0.1 y 2.5 cm, para el primer metro.

a.2 Recolección de ramas y leña que tenga un diámetro entre 2.5 y 7.5 cm, para los primeros cuatro metros.

a.3 Recolección de material leñoso con diámetro mayor a 7.5 cm, para los 20 metros.

a.4 Anotar en la tabla 3.6 el diámetro de cada uno de los elementos recolectados (d1, d2, d3, . . . , dn) en el rango de materiales que le corresponda.

a.5 Elevar al cuadrado el valor de cada uno de los diámetros y anotar el resultado en la tabla 3.6.

a.6 Sumar todos los diámetros que se elevaron al cuadrado y anotar el resultado en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Formato de campo para determinar la carga de combustible

Diámetro	**Material fino 0.1– 2.5 cm** L_i= 1m		**Material mediano 2.5–7.5 cm** L_i= 4m		**Material pesado > 7.5 cm** L_i= 20m	
	d_i	d_i^2	d_i	d_i^2	d_i	d_i^2
d_1						
d_2						
d_3						
d_n						
	Suma	=	**Suma**	=	**Suma**	=

a.7 Determinar el valor de la pendiente sobre la línea de muestreo, por medio del método descrito anteriormente en este capítulo (levantamiento en campo), expresándolo en términos de porcentaje (%).

a.8 Por medio de la ecuación 1 se calculará *c*, que es el factor de corrección por pendiente.

ec. 1 $$c = \sqrt{1 + \left(\frac{\%\, pendiente}{100} \right)^2}$$

a.9 Finalmente, para la estimación de la carga de combustibles superficiales muertos, se aplicará la ecuación 2 (Van Wagner, 1982):

ec. 2 $$C = \left(Gs \frac{0.1234}{L_i} \right) \times \left(d_1^{\,2} + d_2^{\,2} + d_3^{\,2} + ... + d_n^{\,2} \right) \times c$$

Donde:

$\mathbf{L_i}$ es la longitud de la línea de muestreo que toma valores de 1, 4 y 20 m.
$\mathbf{d_1^2 + d_2^2 + \ldots + d_n^2}$, es la suma del cuadrado de los diámetros, obtenida de la tabla 3.6.
Gs es la gravedad específica, definida como el cálculo de la densidad específica de un material entre la densidad específica del agua. Para el caso de la guía el valor de *G*, se refiere a la gravedad específica de la madera; algunos valores se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Valores de gravedad específica de la madera

Tipo de madera	Densidad (g/ml) – (g/cm^3)	Gs
Cedro	0.57	0.57
Ébano	1.26	1.26
Haya	0.66 – 0.83	0.66 – 0.83
Nogal	0.60 – 0.81	0.60 – 0.81
Roble	0.71 – 1.07	0.71 – 1.07
Cerezo	0.76 – 0.84	0.76 – 0.84
Encino	0.69 – 1.03	0.69 – 1.03
Manzano	0.66 – 0.84	0.66 – 0.84
Olmo	0.56 – 0.82	0.56 – 0.82
Pino	0.31 – 0.76	0.31 – 0.76

a.10 Para los materiales finos el valor de "Li" será igual a 1 m, y se calcula por medio de la ecuación 3, de donde se obtiene su carga de combustible (*cf).*

ec. 3 $$cf = (Gs \times 0.1234) \times \left(d_1^{\,2} + d_2^{\,2} + d_3^{\,2} + ... + d_n^{\,2} \right) \times c$$

a.11 Para los combustibles medianos, el valor de "Li" será igual a 4 m, y se calcula por medio de la ecuación 4, de donde se obtiene su carga de combustible *(cm)*

ec. 4 $$cm = (Gs \times 0.031) \times \left(d_1^{\,2} + d_2^{\,2} + d_3^{\,2} + ... + d_n^{\,2} \right) \times c$$

a.12 Finalmente se realizará la suma de los dos valores, obteniendo el total de materiales ligeros *(cl).*

ec. 5 $$cl = cf + cm$$

a.13 Para los materiales pesados el valor de "Li" será igual a 20 m, y se calcula por medio de la ecuación 6, de donde se obtiene su carga de combustible *(cp).*

ec. 6 $$cp = (Gs \times 0.006) \times \left(d_1^{\,2} + d_2^{\,2} + d_3^{\,2} + ... + d_n^{\,2} \right) \times c$$

3.5.2.2 Cálculo de la cama de combustible (cc)

La cama de combustible es un volumen que se compone por material leñoso, hojarasca, y otros tipos de vegetación, como se muestra en la figura 3.12.

B. La determinación del valor de la cama de combustible se lleva a cabo mediante el siguiente procedimiento:

b.1 Se registrarán las profundidades a los 5 m, 10 m, 15 m y 20 m de longitud sobre la línea de muestreo, reportando los resultados obtenidos en la tabla 3.8.

b.2 Posteriormente se calculará el promedio de todas las profundidades en la línea de muestreo, simplemente haciendo la suma de las profundidades (*A*) y el resultado se dividirá entre cuatro, el valor se anotará en la tabla 3.8 en la celda denominada $pcc_{promedio}$.

b.3 A los 5 m, 10 m, 15 m y 20 m sobre la línea de muestreo, se dibujarán cuadrantes de 50 x 50 cm.

b.4 La hojarasca recolectada en cada cuadrante se pesará en el sitio (in situ), dato que deberá registrarse en la tabla 3.8.

b.5 De la muestra de hojarasca en cada uno de los cuadrantes, se tomarán 300 g para su posterior secado, este se puede realizar de dos formas; la primera es calentándolo en una estufa durante varias horas hasta que pierda su humedad, y la segunda es exponiéndolo a un secado natural, teniendo especial cuidado en que no se pierda ningún elemento del material.

b.6 El material seco del punto anterior se pesará nuevamente, registrando el valor en la tabla 3.8.

b.7 El peso por unidad de superficie en kg/m^2, se obtendrá de la suma de los pesos de los cuatro cuadrantes (*B*) y dividiéndolo entre 1 m^2.

b.8 La relación que guardan los 300 g de material que se tomaron de las muestras en los cuatro cuadrantes, dado en unidades de superficie, está expresado de la siguiente manera:

ec. 7 $$\frac{(1200\ g)1\ m^2}{Peso\ in\ situ\ (g)} = R\ (m^2)$$

b.9 El valor del peso seco de los 1,200 g (C), se dividirá entre el resultado de la ecuación 7, con lo cual obtendremos la cantidad de combustible por unidad de superficie, que constituye la cama (cc).

Tabla 3.8 Formato para la obtención de la cama de combustibles

Distancia (m)	Profundidad *pcc* (cm)	Peso de la hojarasca *in situ* por cuadrante (g)	Peso de los 300 gramos secos (g)	Peso por unidad de superficie (g/m^2)
5				***cc = C/R***
10				
15				
20				
Suma	**A**	**B**	**C**	
$pcc_{promedio}$	**A/4**			

pcc profundidad de la cama de combustibles

3.5.2.3 Consideraciones para la obtención de la componente de combustibles forestales

En la determinación de esta componente se puede observar, que las variables no tienen las mismas unidades, por lo que se debe recurrir a normalizar los valores mediante el establecimiento de una escala común, que para este modelo se determino con valores entre 0 a 1, este valor dependerá de los niveles de peligro que aporte cada variable.

En la tabla 3.9 se muestran los valores extremos de la escala común que caracterizan las condiciones de la zona de estudio para cada variable de la componente de carga de combustibles forestales. Los valores intermedios serán calculados mediante la ecuación de la última columna.

Tabla 3.9 Escala para la normalización de valores de carga de combustibles

Escala común / Variable	1	0	Ecuación para la obtención del valor estandarizado
Combustibles ligeros (cl)	la mayor carga	ausencia de carga	$cl_s = \frac{cl_i}{cl_{\max}}$
combustibles pesados (cp)	la mayor carga	Ausencia de carga	$cp_s = \frac{cp_i}{cp_{\max}}$
Cama de combustibles (cc)	la mayor carga de la cama de combustible	Ausencia de cama de combustibles	$cc_s = \frac{cc_i}{cc_{\max}}$
Profundidad de cama de combustibles (pcc)	La mayor profundidad encontrada	Ausencia de cama de combustibles	$pcc_s = \frac{pcc_i}{pcc_{\max}}$

s es el valor normalizado que se quiere calcular, su resultado va de 0 a 1
i es el valor recolectado en el muestreo o en estadísticas

Las variables anteriores, tiene diferente influencia en el resultado final de la componente, por lo que se hace una ponderación, asignando valores relativos con respecto a los criterios y experiencias de los autores del modelo, pero sobre todo al análisis estadístico derivado de observaciones registradas a lo largo del tiempo, ya que con estas estadísticas se pueden determinar factores como el origen de un incendio forestal, su propagación y los daños ocasionados por el mismo.

En la tabla 3.10, se muestra la importancia asignada a las variables que definen a la componente de combustibles forestales.

Tabla 3.10 Valor de importancia para las variables de la componente de combustibles forestales

Variable	Importancia	Valor	Descripción o consideraciones
cc	Mayor	0.3067	Compuestas por partículas de diámetros pequeños, pierden humedad de forma muy rápida, generalmente son los que dan inicio a los incendios.
pcc	Mayor	0.3710	
cl	Media	0.2610	Estos materiales tienen una menor influencia en el inicio de un incendio, pero son de consideración por sus diámetros y su bajo contenido de humedad.
cp	Menor	0.0613	Este material define en gran medida la intensidad de un incendio, pero no tiene gran influencia su inicio.

Finalmente para obtener el valor de la componente de combustibles forestales, se deberá utilizar la siguiente ecuación:

ec. 8 $$C_{CF} = cc(0.3067) + cl(0.2610) + cp(0.0613) + pcc(0.3710)$$

3.5.3 Obtención del componente meteorológico (C_M)

Esta componente tiene gran influencia en la determinación del índice de peligro, ya que de ésta depende el contenido de humedad del material combustible, situación que regula la ocurrencia de los incendios forestales.

Las variables meteorológicas que el modelo considera, son:

- Temperatura media máxima mensual (*tmm*)
- Precipitación media normal mensual (*pnm*)
- Orientación de la pendiente (*op*)

3.5.3.1 Determinación de la temperatura media máxima mensual (tmm)

Esta variable se debe calcular por medio de registros obtenidos en las estaciones meteorológicas ubicadas en el territorio nacional. Para fines de facilitar el uso de esta guía a las autoridades de protección civil, se propone que el valor de la temperatura media máxima mensual sea tomado de la tabla 3.11, cuya fuente es la página del SMN, *http://smn.cna.gob.mx/*, en ella se presentan los valores de la temperatura máxima promedio anual, por medio de datos estadísticos obtenidos en el periodo de 1980 a 2004. La información se muestra por mes para cada uno de los estados. Simplemente, se considerará el mes y el estado en el cual se requiera hacer el estudio y posteriormente se registrará el dato de la temperatura.

Tabla 3.11 Datos de temperatura máxima promedio anual, periodo 1980-2004, (CNA-SMN, 2006)

Temperatura Máxima Promedio Estatal Período 1980-2004, en grados centígrados (ºC)													
Estado	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Agos**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Anual**
Aguascalientes	21.5	23.2	26.5	28.4	30	29.2	26.8	26.3	25.8	25.6	24.3	22.4	25.8
Baja California	19.7	21	22.1	24.6	27	31.1	33.9	33.9	31.9	28.1	23.3	20.2	26.4
Baja California Sur	23.8	25	26.5	28.6	29.8	32.4	34.6	34.8	34	31.6	27.8	24.7	29.5
Campeche	29.6	30.8	33.3	35.1	35.9	34.3	33.6	33.6	33	31.9	30.8	29.8	32.6
Coahuila	19.5	21.8	26	29.5	32.4	34.2	34.1	33.7	31.6	28.3	24.1	19.9	27.9
Colima	31.3	31.9	32.4	33.3	33.9	33.5	32.8	32.6	32.1	32.4	32.3	31.4	32.5
Chiapas	27.9	28.9	31.3	32.4	32.9	31.1	30.6	30.6	30.1	29.3	28.6	27.9	30.1
Chihuahua	17.3	19.5	22.6	26.4	30.1	33.2	31.7	30.4	28.6	25.8	21.4	18.1	25.4
Distrito Federal	20.3	21.5	24	24.8	24.8	23.1	21.7	21.8	21.3	21.4	20.8	20.1	22.1
Durango	21.1	22.8	25.4	28.2	30.6	31.4	29.2	28.6	27.6	26.6	24.2	21.6	26.4
Guanajuato	22.4	24	26.7	28.9	30	28.1	26.1	26.1	25.4	24.9	24.2	22.8	25.8
Guerrero	30.6	31.5	32.8	33.9	34	32	30.8	30.7	30.2	30.7	30.9	30.6	31.6
Hidalgo	21.3	22.8	26.1	27.7	28.1	26.3	25.1	25.3	24.5	23.6	22.8	21.7	24.6
Jalisco	26.1	27.5	29.7	31.7	32.8	31.3	28.8	28.8	28.5	28.6	27.8	26.3	29
México	20.9	22	24.1	25.5	25.5	23.5	22.1	22.3	21.9	22.1	21.8	21.1	22.7
Michoacán	27.7	28.9	30.9	32.6	33	30.8	28.8	28.7	28.4	28.8	28.7	27.9	29.6
Morelos	26.6	28.1	30.4	31.9	31.7	29.2	27.3	27.4	26.8	27.1	27.2	26.7	28.4
Nayarit	28.2	29.4	31	32.8	34	33.8	32.2	31.9	31.7	31.8	30.9	28.5	31.4
Nuevo León	20.4	22.7	26.6	29.5	31.8	33	33.5	33.3	30.9	27.8	24.3	21.1	27.9
Oaxaca	27.2	28	30	31.3	31.4	29.5	28.7	28.7	28.2	28.1	27.7	27.2	28.8
Puebla	23.5	24.8	27.3	28.8	29.1	27.3	26	26.3	25.6	25.5	24.7	23.7	26.1
Querétaro	23	24.6	27.7	29.8	30.3	28.4	26.8	27	26.1	25.4	24.4	23.4	26.4
Quintana Roo	29.2	29.8	31.5	32.7	33.7	33.1	33.1	33.1	32.6	31.7	30.5	29.3	31.7
San Luis Potosí	22.1	24.2	27.5	29.8	31.1	30.3	28.9	29.1	27.9	26.5	24.8	22.8	27.1
Sinaloa	27.2	28.8	30.2	32.4	34.3	35.4	34.7	34	33.8	33.4	30.7	28.1	31.9
Sonora	21.7	23.6	25.4	29.1	32.8	36.9	36.6	35.9	34.8	31.2	25.9	21.9	29.7
Tabasco	27.8	28.9	32.1	34.1	35.5	34	33.5	33.6	32.8	31.1	29.7	28.1	31.8
Tamaulipas	21.9	24.5	28.4	31.4	32.9	34	34.2	34.4	32.4	29.6	26.3	23.2	29.4
Tlaxcala	20.6	21.9	24	24.9	24.8	23.2	22.1	22.2	21.8	22.1	21.8	21.1	22.5
Veracruz	24.5	25.7	29	31.3	32.8	31.8	30.7	30.8	30.2	28.7	26.9	25.1	29
Yucatán	29.7	30.6	32.9	34.7	35.5	34.4	33.9	34	33.3	32.1	31	30	32.7
Zacatecas	21	23	25.7	28.2	30.3	29.9	27.7	27.3	26.4	25.7	24.1	21.7	25.9
Nacional	**23.1**	**24.7**	**27.3**	**29.8**	**31.8**	**32.4**	**31.7**	**31.3**	**30.2**	**28.5**	**25.9**	**23.6**	**28.3**

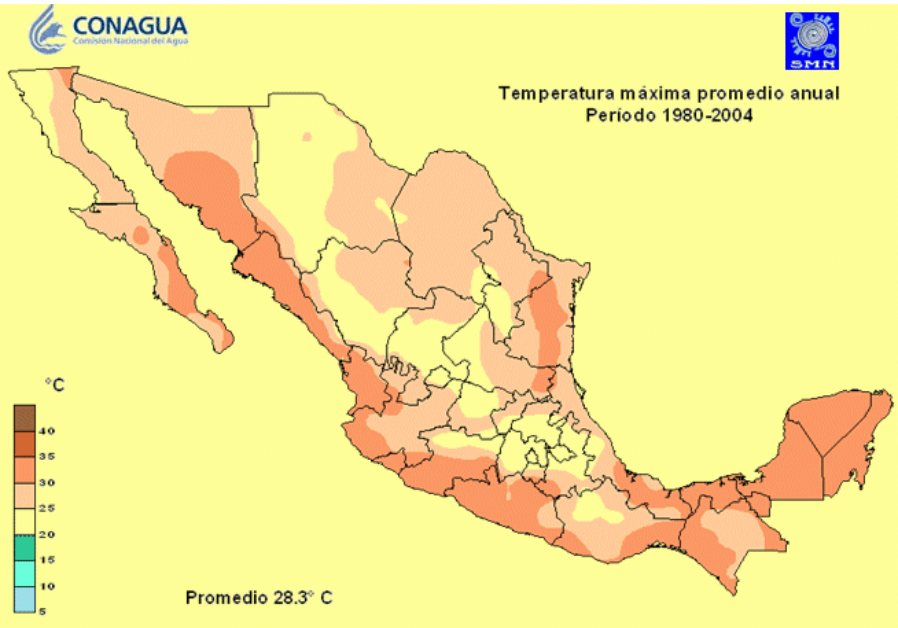


Fig. 3.13 Mapa de temperatura máxima promedio anual, SMN 2006

3.5.3.2 Determinación de la precipitación con distribución media normal mensual (pnm)

Esta variable, así como la anterior, requieren de un análisis matemático complejo, donde los datos registrados durante largos periodos por medio de estaciones climatológicas, son de gran importancia para poder predecir la lámina de lluvia que se presentará en ciertas fechas. De esta forma, para poder determinar este valor, se tomarán datos del Servicio Meteorológico Nacional, específicamente los registros de lámina de lluvia normal mensual obtenidos por medio de un tratamiento estadístico para datos del periodo de 1941 a 1996. En la tabla 3.12 se presenta esta precipitación por mes y para cada estado del país.

Para determinar el valor de la lámina de lluvia normal mensual sólo se tendrá que ubicar el estado en el cual se encuentra la zona de estudio y el mes en el que se realizará el análisis. Los datos obtenidos de esta fuente, contribuirán a la determinación de un índice mensual de peligro. Si el estudio requiere mayor precisión o un índice semanal o diario se deberá a datos específicos de estaciones climatológicas ubicadas en zonas cercanas al área de estudio, el análisis estadístico de los registros y posteriormente a su interpretación por parte de personal capacitado en la materia.

Tabla 3.12 Datos de lámina de lluvia normal mensual, periodo 1980-2004, (CNA-SMN, 2006)

Cuadro de Precipitaciones 1941-1996, en milímetros de lámina de lluvia (mm)													
Estado	**Ene**	**Feb**	**Mar**	**Abr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Agos**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dic**	**Anual**
Aguascalientes	13.3	6.3	3.4	7.5	16.4	70.8	101.4	103.3	76.9	33.2	12.5	11.1	456.1
Baja California	38.1	30.3	37.5	15.3	4.3	1.2	1.4	5.2	5.8	9.2	22.7	34.1	205.1
Baja California Sur	14.5	4.7	2.3	1	0.6	1	19.3	41.7	52	18.5	5.9	14	175.5
Campeche	27.6	19.2	18.4	13.9	60.1	157.3	189.4	200.3	207.2	120.9	54.7	33.7	1102.7
Coahuila	13.5	12.2	6.3	20.2	36.1	37.1	33.2	40.3	56.2	30.2	13.2	12.3	310.8
Colima	23.5	7.6	4	2.5	9.1	112.8	168.4	203.4	223.2	100.8	25.2	14.8	895.3
Chiapas	83.8	59.4	49.8	56.5	133.1	270.5	272.9	265.2	342.1	230	111.6	107.5	1982.4
Chihuahua	17.6	9.6	6.9	8.2	10.3	35.4	111.4	100.8	71.1	29.4	9.3	18.7	428.7
Distrito Federal	7.8	4.7	8.9	22.6	50.7	123.9	155.1	141.7	122.6	50.4	10.5	6.1	705
Durango	22	10.2	5.9	5.3	11.4	60.4	119.5	120	95.3	36.4	13.7	27.4	527.5
Guanajuato	13.2	7.1	8.4	15.7	36.5	105.3	125.3	122.7	98.5	41.7	12.2	10.8	597.4
Guerrero	10.8	3	2.7	9.6	50.4	204.9	227.7	226.9	263.4	108.4	26.5	6.2	1140.5
Hidalgo	21.6	18.1	22.3	41.7	69.4	128.4	120.7	111.5	161	80.5	37.3	22.5	835
Jalisco	16.2	8.3	7.1	7	26.2	147.9	212	187.3	144.8	63.7	17	14.1	851.6
México	14.2	6.8	9.4	24.9	65.1	163.7	193.4	183	166.8	75.4	21.1	9.4	933.2
Michoacán	15	4.8	4.2	10.9	33.6	140.7	190.1	172.5	162.2	66.3	16.4	9.7	826.4
Morelos	10.4	3.3	4.3	13.8	53.6	182.5	173.9	157.4	183.3	66.2	13.7	4.4	866.8
Nayarit	20.6	9.1	4.8	4.3	8.7	136.9	275.3	264.5	212.7	74.8	15.2	18.6	1045.5
Nuevo León	21.4	18.1	16.2	37.7	62.1	75.1	55.2	85.2	131.7	62.4	19	17.9	602
Oaxaca	31.4	28	22.3	31.1	88.9	257.3	265.3	247.6	288.2	143.2	61.2	38.5	1503
Puebla	30.6	25.5	26	44.4	83.3	181	187.6	174.1	222.2	123.4	59.9	35.4	1193.4
Querétaro	12.7	6	8.5	21.2	42.6	105.2	112.2	101.5	100.9	43.6	13.1	8	575.5
Quintana Roo	63.3	39.3	31.5	30.7	101.1	177.5	140.9	131.9	204.4	159.7	89.5	81.8	1251.6
San Luis Potosí	20.5	17.5	16.8	36.6	69.3	156.3	149.6	150.4	209	95.4	37.3	25.9	984.6
Sinaloa	31.5	14.6	13.1	9	11.1	60.3	191	196.3	159.6	61.6	22	35.1	805.2
Sonora	26.3	15.3	11.1	4.3	3.7	20.1	121.2	111.9	55.6	26.5	12.6	27.5	436.1
Tabasco	187.3	120.4	84.1	71.8	126.3	248.7	210	246.7	381.3	346.4	212.4	197.3	2432.7
Tamaulipas	19.5	15.8	15.9	35.8	70.3	129.3	108.9	105.6	154.5	72.4	25	19.9	772.9
Tlaxcala	7.9	6.6	11.4	32.8	73.1	129.7	125.7	124	107.2	51.4	16.4	6.9	693.1
Veracruz	42	35	32.9	44.4	76.8	208.8	237.1	195.8	292.3	155.2	82.7	56.5	1459.5
Yucatán	35.7	35.3	30.4	30.8	81.8	164.4	172.5	168.5	190.1	111.3	52.1	45.5	1118.4
Zacatecas	17.4	8.4	5.9	7.6	19	79.7	119	111.7	84.7	35.3	13.4	17.9	520
Nacional	**27.3**	**18.2**	**15.2**	**19.2**	**40.8**	**104.6**	**140.4**	**136.1**	**142**	**72.5**	**31.1**	**30**	**777.4**

3.5.3.3 Determinación de la orientación de la pendiente (op)

Para determinar esta variable se debe contar con datos sobre las características del terreno, específicamente la pendiente y su orientación, para posteriormente asociarlos con información histórica sobre la frecuencia de incendios forestales en la región de estudio. Para determinar esta variable se sugiere utilizar el Continuo de Elevaciones Mexicano, producto gratuito proporcionado por el INEGI a través de su portal, el cual utilizando un sistema de información geográfica permite generar un mapa de pendientes así como su orientación. Una vez que se ha determinado la orientación de la pendiente, los datos se clasificarán de forma tal que la orientación con más recurrencia adquiera el valor de 1 y 0 la que se presente el menor número de veces. Estos valores se obtienen de manera cualitativa como se puede observar en la tabla 3.13, donde la frecuencia hace referencia al número de incendios presentados en un sitio donde la orientación de pendiente ha sido la misma; en caso de no existir datos que asocien esta variable con la frecuencia de los incendios forestales, dicha variable no se tomará en cuenta.

Tabla 3.13 Valores cualitativos asignados a la orientación de pendiente

Valor	Frecuencia de incendios en un año
1	5 ó más
0.75	3 ó 4
0.5	2
0.25	1

3.5.3.4 Consideraciones para la obtención de la componente meteorológica

Con los datos del servicio meteorológico nacional, el análisis de la C_M, se facilita, ya que al obtener los valores de la temperatura máxima mensual *(tmm)* como de la precipitación normal mensual *(pnm)* para cada mes y estado del país, la normalización de los datos se establece para el caso de *(tmm)* de la siguiente forma; para un estado o región en específico al valor más bajo de temperatura se le asignará el valor de 0, mientras que a la temperatura más alta se le dará el valor de 1. Para la *(pnm)*, la normalización es contraria con respecto a los datos de temperatura, ya que al valor mínimo de lluvia registrada para lo zona de estudio se le dará un valor de 1, mientras que el mayor dato de lluvia se le asignará el valor de 0; los valores intermedios se calcularán usando la ecuación de la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Escala para la normalización de valores meteorológicos

Escala común / *Variable*	1	0	Ecuación para la obtención del valor estandarizado
Temperatura máxima mensual (*tmm*)	la máxima registrada	la más baja	$tmm_s = \frac{tmm_i}{tmm_{\max}}$
Precipitación normal mensual (*pnm*)	mínima registrada	máxima registrada	$pnm_s = \frac{pnm_i}{pnm_{\min}}$
Orientación de la pendiente (*op*)	frecuencia igual o mayor de 5 incendios forestales al año	no se presentan incendios o no se tienen datos	*tabla 3.13*

s es el valor normalizado que se quiere calcular, su resultado va de 0 a 1
i es el valor recolectado en el muestreo o en estadísticas

Los valores relativos que se le asignan a las variables que definen la componente meteorológica se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Valor de importancia para las variables de la componente meteorológica

Variable	Importancia	Valor	Descripción o consideraciones
tmm	Media	0.2493	Las altas temperaturas en combinación con otras condiciones, como la incidencia del sol, pueden llegar a generar incendios.
pnm	Mayor	0.5936	Los periodos de sequía están directamente relacionados con la cantidad de lluvia, lo que impacta directamente en la humedad del material combustible.
op	Menor	0.1571	Depende directamente de la frecuencia con que se presentan un incendio forestal en cierta zona de estudio.

La componente meteorológica queda definida por medio de la ecuación 9.

ec. 9 $$C_M = tmm_i(0.2493) + pmn_i(0.5936) + op(0.1571)$$

3.5.4 Obtención de la componente de causa (C_C)

Es de gran importancia considerar los agentes causales de los incendios forestales para su integración en el presente modelo, sin embargo se presenta una gran dificultad de representarlos espacialmente, por lo que se realizó un análisis de los rasgos geográficos asociados con actividades humanas (*Chuvieco et al, 2000, García et al., 1999, Almeida, 1994*), tales como distancia a vías de acceso al sitio de estudio, distancia a poblados, áreas sometidas a manejo forestal, las cuales se utilizarán en esta metodología y se sugiere determinar a través de una carta topográfica.

3.5.4.1 Determinación de áreas de manejo forestal (aa)

Las actividades de manejo forestal engloban la producción maderera comercial, la conservación de la biodiversidad y actividades turísticas en bosques y selvas.

Para determinar el área de manejo forestal en el sitio de estudio, se utilizará la carta de uso de suelo y vegetación, con el fin de identificar las zonas con actividades referentes al aprovechamiento forestal. Una forma de realizar este cálculo, se muestra en la figura 3.14, donde se tratará por medio de cuadrículas, cada vez más pequeñas, estimar el valor de la superficie de un estrato, teniendo en cuenta que se deben de excluir los cuerpos de agua, las zonas urbanas y los pastizales.

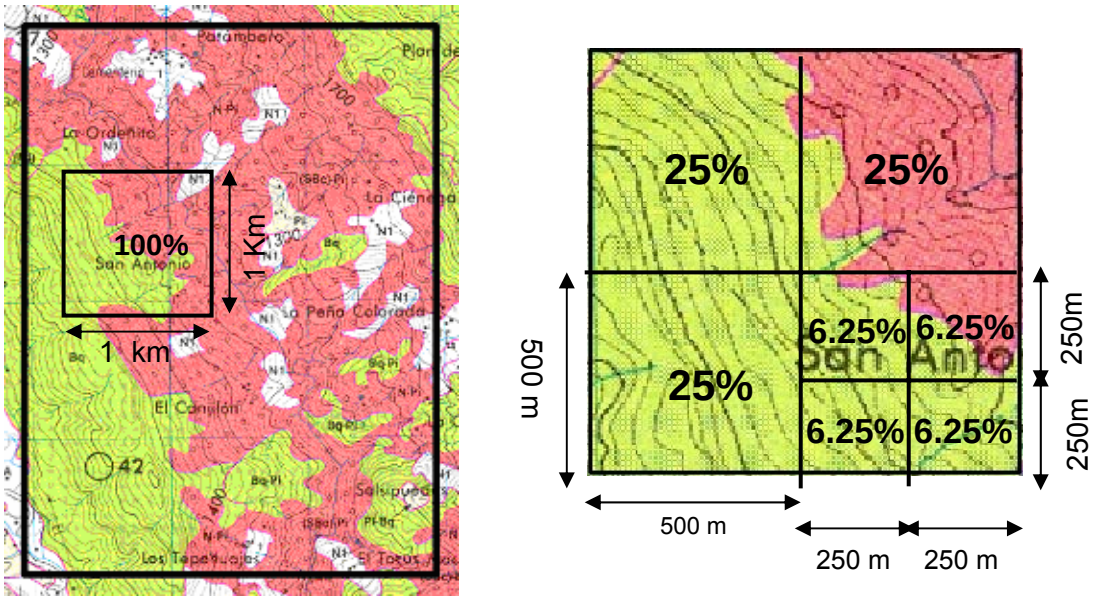


Figura 3.14 Determinación de áreas de aprovechamiento forestal

3.5.4.2 Determinación de la distancia a vías de comunicación

Las vías de comunicación que se considerarán para la aplicación del modelo mediante la determinación de su distancia a la zona de interés son:

Para las tres variables el calculo de las distancias se deberá llevar a acabo empleando la carta topográfica 1:50,000, y midiendo sobre el mapa la distancia que existe entre el límite de la zona de estudio y la carretera más cercana, para facilitar el cálculo con una regla, se establece que la cuadrícula de la carta es de 1 km por 1 km, o bien, que cada 2 cm representan 1 km.

- Distancia a carreteras (*dc*).
- Distancia a veredas (*dv*).
- Distancia a brechas de extracción de madera (*db*).

3.5.4.3 Determinación de la distancia a poblados (dp)

En la carta topográfica 1:50,000 se pueden observar los poblados que se encuentren más cercanos a la zona de estudio, entonces para determinar la distancia se tomará una regla y se medirá la distancia en centímetros posteriormente se multiplica por 500, de esta forma se obtiene el resultado en metros como se muestra en la figura 3.15.

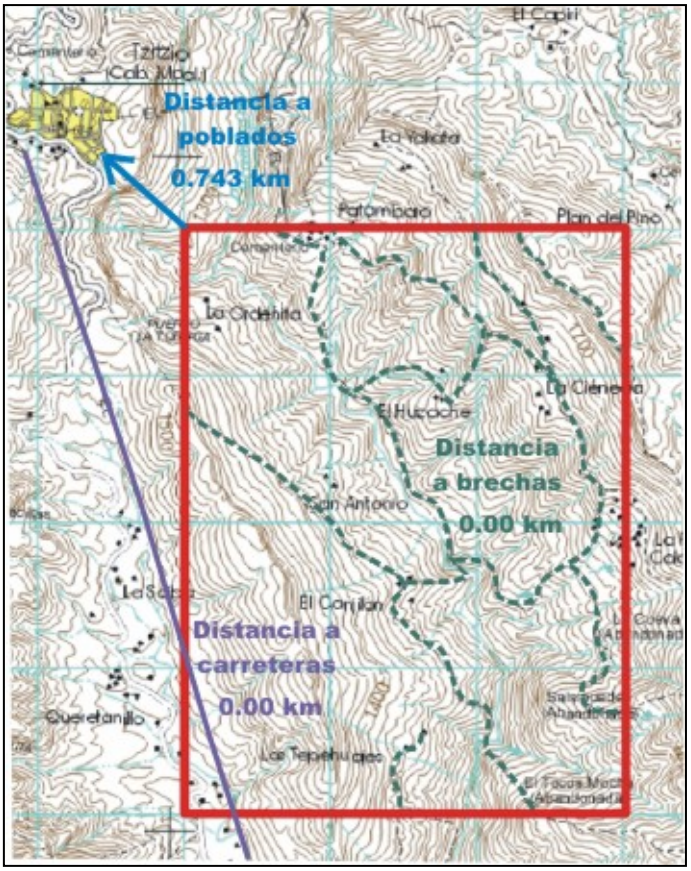


Figura 3.15 Determinación de distancias por medio de la carta topográfica

3.5.4.4 Consideraciones para la obtención de la componente de causa

Una consideración importante para este caso, es la existencia de poblados y vías de comunicación lejanos a la zona de estudio, por lo que se requiere acotar el radio de influencia para determinar hasta donde llegará el análisis. Para cada caso se definen los valores en la tabla 3.16.

Tabla 3.16 Radios de influencia para vías de comunicación

Variable	Radio de influencia (m)
Brechas	1,000
Veredas	1,000
Carreteras	1,500
Poblados	2,500

Para la normalización de las variables que integran el C_C, se le asignará el valor de 1 a la distancia más corta que exista entre el limite de la zona de estudio y la carretera, brecha de extracción de madera, vereda o poblado y 0 a la vía de comunicación o poblado que se encuentre más alejado de la zona de estudio y que esté dentro del radio de influencia de la misma. De esta forma para normalizar otros valores de distancia se deberá recurrir a las ecuaciones de la tabla 3.17.

Tabla 3.17 Escala para la estandarización de valores de causa

Escala común / *Variable*	1	0	Ecuación para la obtención del valor estandarizado
Distancia a poblados (*dp*)	≤ 500 m	en el límite del área de influencia	$dp_s = \frac{dp_i}{500}$
Distancia a brechas (*db*)	≤ 50 m	en el límite del área de influencia	$db_s = \frac{db_i}{50}$
Distancia a veredas (*dv*)	≤ 50 m	en el límite del área de influencia	$dv_s = \frac{dv_i}{50}$
Distancia a carreteras (*dc*)	≤ 50 m	en el límite del área de influencia	$dc_s = \frac{dc_i}{50}$

s es el valor normalizado que se quiere calcular, su resultado va de 0 a 1
i es el valor recolectado en el muestreo o en estadísticas

En la tabla 3.18, se muestra la importancia asignada a las variables por medio de su valor relativo correspondiente.

Tabla 3.18 Valor de importancia para las variables de causa

Variable	Importancia	Valor	Descripción o consideraciones
aa	Mayor	0.4211	Mientras mayor área de aprovechamiento forestal exista, mayor es la influencia de las actividades humanas.
db	Mayor	0.3431	El transporte de madera, implica actividades y asentamientos humanos temporales en la zona.
dp	Media	0.1172	Es muy variable ya que depende de la distribución de los asentamientos humanos.
dv	Menor	0.0687	Estadísticamente tienen una influencia directa en la ocurrencia de incendios forestales y su valor relativo puede cambiar en sentido opuesto si alguna de estas vías de comunicación cruza la zona de estudio.
dc	Menor	0.0500	

Para determinar el valor de la componente de causa se utilizará la siguiente ecuación:

ec. 10 $$C_C = aa(0.4211) + db(0.3431) + dc(0.0500) + dv(0.0687) + dp(0.1172)$$

3.5.5 Integración de criterios

Para realizar al cálculo del *IPIF* (índice de peligro por incendios forestales), se emplea una evaluación multicriterio (EMC), el cual tiene la finalidad de establecer una regla de decisión, la cual se aplica para obtener resultados que muestren el índice correspondiente a la zona de estudio.

Finalmente mediante una ponderación de las componentes, se calculará el valor del índice de peligro *IPIF*, el cual se podrá interpretar de la siguiente manera:

Tabla 3.19 Interpretación de los valores del IPIF

Índice	Porcentaje	Amenaza de ocurrencia
0.0 – 0.2	0 – 20 %	Muy bajo
0.2 - 0.4	20 – 40 %	Bajo
0.4 – 0.6	40 – 60 %	Medio
0.6 – 0.8	60 – 80 %	Alto
0.8 – 1.0	80 – 100 %	Muy alto

3.5.6 Determinación del índice de peligro por incendios forestales *(IPIF)*

El *IPIF* se podrá calcular por medio de una suma ponderada de las componentes, en donde la componente meteorológica tiene una influencia del 60 %, la preponderancia de la componente del combustible forestal es del 25 % y finalmente la componente de causa un 15 %, quedando definido el *IPIF* con la siguiente ecuación.

ec 11 $$IPIF = C_M\left(0.60\right) + C_{CF}\left(0.25\right) + C_C\left(0.15\right)$$

Los factores de ponderación están asignados principalmente por la influencia de las componentes en la ocurrencia del incendio, esto último determinado por análisis estadísticos, es decir, si se tiene un archivo histórico sobre la ocurrencia, propagación y daños de un incendio forestal en una zona específica, se podrán establecer con mayor certeza los orígenes del incendio.

CONCLUSIONES

La presente metodología establece los criterios generales para determinar el nivel cualitativo de peligro por incendios forestales, en una zona determinada. Para ello, incorpora un modelo multicriterio basado en datos estadísticos, a través de estudios realizados en el norte del país que fueron considerados en la formulación de esta guía. Se pretende, que esta guía resulte una herramienta que permita a quienes atienden los incendios forestales, contar con información indispensable para determinar las causas que inciden en su inicio y que podrá ser aplicada en aspectos preventivos y de atención a la emergencia.

En el estudio de peligro para incendios forestales, es necesario contar con estimaciones sobre el medio físico, aspectos forestales, así como del entorno socioeconómico. La obtención de resultados confiables, depende de la calidad y análisis de los datos estadísticos y de los levantados en campo.

Con la aplicación de la metodología se obtiene un índice de peligro por incendios forestales *(IPIF)*, que indica la posibilidad de ocurrencia del fenómeno en cierta zona, con la temporalidad definida para el análisis y con base en los datos estadísticos con que se cuente. Los datos que se manejan en esta metodología, están asociados a una representación estatal, en caso de que el estudio requiriera mayor precisión, entonces se deberá recurrir a datos puntuales; como los generados por las estaciones meteorológicas cercanas al sitio de estudio, para el caso de la componente meteorológica, y para la componente de causa se deberá contar con cartografía con escalas grandes, por ejemplo 1:5,000, fotografía aérea o imágenes de satélite de alta resolución.

En trabajos próximos se desarrollarán modelos complejos que involucren la etapa de evaluación del peligro por incendios forestales, en términos de su intensidad y probabilidad de ocurrencia, y que también incorporen modelos que determinen su propagación. Adicionalmente se definen variables (material combustible y localización de la población), que podrán ser de utilidad para cuantificar la pérdida esperada (riesgo), debida al impacto de los incendios forestales.

Finalmente, cabe mencionar que la representación de los incendios forestales es un fenómeno complejo, difícil de cuantificar a través de un modelo simplificado, sin embargo, el presente trabajo tiene la virtud de establecer un nivel de peligro por medio de la determinación de ciertas variables, sin tener que llevar a cabo complicados análisis matemáticos.

Se invita a todas aquellas personas interesadas en aplicar esta metodología, a establecer una retroalimentación que permita mejorarla en cuanto a su contenido, alcance y aplicación en la determinación del nivel de amenaza para un fenómeno que cada día toma mayor relevancia.

GLOSARIO

Árbol: Planta perenne, de tronco leñoso y elevado, que se ramifica a cierta altura del suelo con una talla total superior a los siete metros.

Arbusto: Planta leñosa, con tronco único y copa, bien diferenciados, y una altura total inferior a cinco metros.

Biodiversidad: Es toda la variedad de vida en la Tierra. Puede abordarse de tres maneras: como variedad de ecosistemas, variedad de especies y variedad de genes.

Calor: Energía térmica y transferencia de energía térmica.

Clima: Condiciones medias del tiempo en un lugar determinado, establecidas mediante observaciones y mediciones de las variables meteorológicas durante períodos suficientemente largos. Cuando se habla del clima de una región, debe hacerse referencia tanto a los valores medios como a los extremos alcanzados por cada variable.

Conducción: Es un mecanismo de transferencia de energía térmica entre dos sistemas basado en el contacto directo de sus partículas, que tienden a igualar su temperatura o estado de excitación térmica.

Convección: Movimientos internos organizados dentro de una capa o aire que conducen al transporte vertical del calor, *momentum*, etc. En el aire, la convección se produce con mayor frecuencia debido a la capacidad de flotamiento de una masa de aire en contacto con una superficie caliente, lo que produce una corriente vertical de aire sobre la superficie. La convección también puede ocurrir por la mecánica de corrientes y remolinos de aire, como cuando el aire pasa sobre un terreno elevado.

Cuadrante: Es la manera de dividir una zona en cuadros pequeños, los cuales, en este caso, sirven para determinar la ubicación exacta de donde se toman las muestras recolectadas, este cuadrante mide 25 por 25 cm.

Densidad: La densidad es igual a la masa por unidad de volumen. Se puede medir en kilogramos por pulgada cúbica, gramos por centímetro cúbico, etc. La densidad de los líquidos es uniforme, esta no tiene cambios de un punto a otro, pero, en un gran cuerpo de gas como nuestra atmósfera esto no es cierto. La densidad algunas veces es expresada de otra manera indicando cuantas veces es densa una sustancia como lo es el agua. La densidad de la sustancia en cuestión dividida entre la densidad del agua es llamada gravedad específica, este es un número puro y no tiene unidades. Como la densidad del agua es de 1 g. /cm^3, la gravedad específica de todas las sustancia es igual numéricamente, esto es la densidad en g. /cm^3.

Detección: La acción o sistema utilizado para descubrir y localizar incendios, por ejemplo, la detección de bomberos o personal voluntario desde torres de vigilancia.

Estrato: La capa de vegetación viva comprendida entre ciertos límites. El estrato herbáceo comprende las plantas no leñosas; el arbustivo, las leñosas que no llegan a adquirir el porte arbóreo, y el arbóreo, el estrato compuesto por árboles.

Foco: Fuego inicial que afecta un área de escasas dimensiones, en las proximidades del punto de ignición. También utilizado para describir un sector de un incendio que arde con mayor intensidad que el resto.

Geoestadística: Se define como la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio, siendo una herramienta útil en el estudio de estas variables.

Humo: Aerosol producido por combustión, descomposición térmica o evaporación térmica. Sus partículas pueden ser sólidas (humo del óxido de magnesio) o líquidas (humo del tabaco). La definición estándar internacional de *humo* es: "un aerosol visible producido generalmente por la combustión". El humo es una suspensión atmosférica de partículas pequeñas producida por la combustión.

Humedad relativa: Proporción de la fracción molecular de vapor de agua en el aire en relación con la fracción molecular correspondiente si el aire se saturara con respecto al agua a una presión y temperatura específica.

Hojarasca: Conjunto de las hojas que han caído de los árboles.

Ignición: Acción de un objeto en combustión.

Incendio: Fuego grande que quema combustibles que no estaban destinados a arder.

Índice de peligro: Indicador cuantitativo y/o cualitativo del peligro de incendios.

Infraestructura: Datos e información geográfica que se refieren a cualquier obra hecha por el hombre ubicada en alguno de los 6 ámbitos geográficos generales del territorio nacional incluyendo la Zona Económica Exclusiva. Ejemplo: carreteras, localidades, puentes, presas, tendidos eléctricos, redes de comunicación telefónica, faros, puertos, límites político administrativos, demarcaciones geográficas de cualquier tipo, plataformas petroleras, etc.

Intensidad del fuego: Un término general que se refiere a la energía térmica liberada por un incendio.

In situ: En el lugar, en el sitio.

Ladera: Terrenos con pendientes mayores al 15 % y caracterizadas generalmente por desarrollo en sentido horizontal.

Lámina de lluvia: Tiene una escala en milímetros la que identifica la cantidad de lluvia observada en un lugar específico en un tiempo determinado.

Localidad: Todo lugar que esté habitado.

Madera: Son tejidos lignificados conductores de agua, los de sostén y los de reserva contenida en las ramas, tallos y raíces.

Oxígeno: Elemento gaseoso, cuyo número atómico es 8, masa atómica relativa igual a 15,9994 y su se representa con "O". El oxígeno es un gas incoloro e inodoro que permite la combustión en el aire. El oxígeno molecular (O_2) constituye 20,95% del volumen de aire seco en la parte inferior de

la atmósfera. El O_2 es esencial para la conservación de casi todas las formas de vida. A una altitud mayor de 20 km, el oxígeno atómico se presenta en cantidades significativas y a 100 km, se encuentra en forma predominante.

Pastizal: Vegetación herbácea generalmente constituida por gramíneas y otras especies de pastos. En áreas húmedas los mismos están representados por juncales, totorales o pajonales.

Perenne: Es una planta que vive durante más de dos años. Las plantas perennes herbáceas son aquellas que no forman tejido leñoso permanente.

Población: Grupo de seres vivos de la misma especie que viven juntos en la misma zona y en la misma época.
Precipitación: Caída de partículas líquidas o sólidas de agua.

Profundidad de la cama: Altura media de los combustibles de superficie, presentes en la zona de combustión del frente de propagación del fuego.

Profundidad del mantillo: Altura media de los combustibles de superficie, presentes en la zona de combustión del frente de propagación del fuego.

Radiación: es un modo de propagación de la energía a través del vacío. En sentido estricto refiere a la radiación electromagnética, aunque también se utiliza la expresión para referirse al movimiento de partículas a gran velocidad en el medio, con apreciable transporte de energía.

Sequía: Ausencia prolongada o escasez marcada de precipitación.

Suelo: Datos e información geográfica referente al estrato donde se sustenta la vegetación y es originada por la interacción del clima sobre la roca madre. Ejemplo: edafología, uso del suelo, Vegetación, contaminación ambiental, etc.

Temperatura: Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente. Su unidad en el Sistema Internacional es el *kelvin* (K).

Triángulo del fuego: Herramienta didáctica en la cual cada lado de un triángulo equilátero se refiere a los tres factores necesarios para la combustión y producción de llama (oxígeno, calor y combustible). Cuando alguno de estos factores es removido, la llama no se produce o cesa.

Vegetación: Tapiz vegetal de un país o de una región geográfica. La predominancia de formas biológicas tales como árboles, arbustos o hierbas, sin tomar en consideración su posición taxonómica, conduce a distinguir diferentes tipos de vegetación, como bosque, matorral y pradera.

Zona: Parte de terreno o de superficie encuadrada entre ciertos límites.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Alanis M. H, Orozco V. F, (2000), "Índice de riesgo de incendios forestales, en la región central del macizo boscoso de Chihuahua", INIFA P–SAGAR, Cd. Madera, Chihuahua, (22 pp.)

Dykstra Dennis P, Heinrich Rudolf, (1996), "Código modelo de prácticas de aprovechamiento forestal de la FAO". Departamento de montes. FAO - ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION.

Flores, G. J., Benavides, S. J, (1994), "Algunas condiciones que influyen en el riesgo y peligrosidad de los incendios forestales", INIFAP - SARH, Guadalajara, Jal, (10 pp.)

Flores, G. J, Rodríguez, T. D, Murrieta, E. O, Sánchez Z. F, (2006), "Incendios Forestales", Universidad Autónoma de Chapingo, CONAFOR. Mundi- Prensa, México, (254 pp.)

Instituto de Geografía, "Boletín de Incendios Forestales Núm. 56", (2005).

Magaña T. O, (1985), "Índices de peligro de incendios forestales", Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D. F, (15 pp.)

Margenau, Watson and Montgomery, (1953), "Physics Principles and applications" Second edition, McWRAW-HILL, KOGAKUSHA COMPANY, (803 pp.)

Martínez F. J, (2004), Memoria explicativa de la tesis doctoral "Análisis, estimación y cartografía del riesgo humano de incendios forestales" Convocatoria de premios para tesis doctorales sobre Protección Civil. Alcalá de Henares, España. (10 pp.)

Muñoz R. C, Treviño G. E, Verástegui C. J, et. al. (2005), "Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México" Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía Núm. 56, México, (101– 117 pp.)

Rodríguez T. D, (1996), "Incendios Forestales", Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi-Prensa, México.

Orellana. L. R., Vidal Z. R., (2005) "Enriqueta garciae" Antología, Instituto de Geografía –UNAM, Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., México D.F., (312-314 pp.)

Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, (2004), "Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos", México D. F, (386 pp.)

Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED, (1999), "Incendios Forestales" Fascículo 10, segunda edición, México D.F, (56 pp.)

Universidad de Alcalá, (1997 – 98), "Serie geográfica, No 7, Incendios Forestales", Departamento de Geografía y el Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá, Madrid, España. (153 pp.)

Van W. C, (1982), "Practical aspects of the line intersect method", Petawa Nacional Forestry Institute, Canadian Forestry Service. Chalk River, Ontario, Canada.

Vega, G. C, M. Woodard P, J. Titus S. (1999), "Dos modelos para la predicción de incendios forestales en Whitecourt Forest, Canadá". Investigación agraria. Sistemas de recursos forestales Vol. 8 (23 pp.)

Villers, R. L, López, B. J, (2004), "Incendios forestales en México. Métodos de evaluación", UNAM Centro de ciencias de la atmósfera, México, D. F. (164 pp.)

Zepeda, R. O, (2003), “Sistema de información geográfica con aplicación a incendios forestales en Yucatán y énfasis en la protección civil”, CENAPRED, México, (15 pp.)

http://www.nfpa.org
http://fms.nofc.cfs.nrcan.gc.ca/mexico/index.html
http://conabio.gob.mx/conocimientos/puntos_calor/doctos/puntos_calor.html
http://smn.cna.gob.mx/
http://www.conafor.gob.mx
http://www.inegi.gob.mx

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Cynthia Paola Estrada Cabrera por la elaboración de las imágenes de este capítulo.

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN | SEGOB

Secretaría de Gobernación
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Dirección General de Protección Civil

Av. Delfin Madrigal No. 665,
Col. Pedregal de Sto. Domingo,
Del. Coyoacán
México D.F., C.P. 04360

www.cenapred.unam.mx