



- Designación: E 1739 – 95 ^{ε1}

Guía de Normas para la Acción Correctiva Basada en Riesgos [*Risk-Based Corrective Action (RBCA)*], de Aplicación en Sitios con Fuga de Petróleo¹

Esta norma se emite con la designación establecida E 1739. El número inmediato posterior a la designación indica el año de su adopción original o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Una epsilon (ε) en superíndice indica un cambio editorial realizado con posterioridad a la última revisión o reaprobación.

^{ε1} Nota: Se realizaron cambios editoriales durante diciembre de 1996.

1. Alcance

1.1 La presente es una guía para la acción correctiva basada en riesgos [*Risk-Based Corrective Action*] (RBCA), un proceso de toma de decisiones coherente para la evaluación y respuesta ante una fuga de petróleo, basado en la protección de la salud de los seres humanos y el medio ambiente. Los sitios con fuga de petróleo difieren en gran medida en cuanto a su complejidad, sus características físicas y químicas y en lo que respecta al riesgo que pueden representar para la salud de los seres humanos y para el medio ambiente. El proceso de RBCA reconoce esta diversidad y utiliza un método dividido en niveles, en el cual las actividades de acción correctiva se adaptan a las condiciones y los riesgos específicos del sitio. Si bien el proceso de RBCA no se limita a una clase de compuestos en particular, esta guía hace hincapié en la aplicación del proceso de RBCA a fugas de productos derivados del petróleo a través del uso de ejemplos. La evaluación de riesgos ecológicos, tal como se la trata en esta guía, es una evaluación cualitativa de los impactos reales o potenciales en receptores ambientales (no humanos).

Pueden existir circunstancias en las cuales sea necesaria una evaluación de riesgos ecológicos en mayor detalle (remítase a Ref. (1)).¹

1.2 El proceso de decisión que se describe en esta guía combina prácticas de evaluación de riesgos y de exposición, tal como lo sugiere el EPA de EUA [Ente de Protección Ambiental de EUA, *Environmental Protection Agency*], con actividades de evaluación del sitio y selección de medidas de remediación para asegurarse de que la acción elegida protege la salud de los seres humanos y el medio ambiente. La RBCA prescribe la siguiente secuencia general de acontecimientos, una vez que se desencadena el proceso ante la sospecha o confirmación de una fuga de petróleo:

- 1.2.1 Realización de una evaluación del sitio;
- 1.2.2 Clasificación del sitio según la urgencia de la respuesta inicial;

1.2.3 Implementación de una acción de respuesta inicial adecuada para la clasificación del sitio que se seleccionó;

1.2.4 Comparación de las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés en el sitio con los niveles de selección basados en riesgos correspondientes al Nivel 1 [*Tier 1 Risk Based Screening Levels*] (RBSL), proporcionados en una tabla de consulta;

1.2.5 Decisión acerca de si se justifica ya sea una evaluación del nivel posterior, o la implementación de una acción de remediación temporaria o bien, si pueden aplicarse los RBSL como niveles objetivo de remediación;

1.2.6 Recolección de información adicional específica del sitio según sea necesario, en caso de que se justifique la evaluación del nivel posterior;

1.2.7 Desarrollo de niveles objetivo específicos de un sitio [*Site-specific target levels*] (SSTL) y puntos de cumplimiento (evaluación del Nivel 2);

1.2.8 Comparación de las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés en el sitio con los SSTL de la evaluación del Nivel 2 en el o los puntos de cumplimiento o el o las áreas de la fuente que se determinen;

1.2.9 Decisión acerca de si se justifica ya sea una evaluación del nivel posterior, o la implementación de una acción de remediación temporaria o bien, si pueden aplicarse los SSTL del Nivel 2 como niveles objetivo de remediación;

1.2.10 Recolección de información adicional específica del sitio según sea necesario, en caso de que se justifique la evaluación del nivel posterior;

1.2.11 Desarrollo de SSTL y punto(s) de cumplimiento (evaluación del Nivel 3);

1.2.12 Comparación de las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés en el sitio, en el o los puntos de cumplimiento o el o las áreas de la fuente que se determinen, con los SSTL de la evaluación del Nivel 3; y

1.2.13 Desarrollo de un plan de acción de remediación para lograr el SSTL, según corresponda.

1.3 La guía está organizada de la siguiente manera:

¹ Los números en negrita entre paréntesis se refieren al listado de referencias que se encuentra al final de esta guía.

1.3.1 La Sección 2 incluye los documentos a los que se hace referencia;

1.3.2 La Sección 3 define la terminología que se utiliza en esta guía;

1.3.3 La Sección 4 describe la importancia y el uso de esta guía;

1.3.4 La Sección 5 es un resumen del método dividido en niveles;

1.3.5 La Sección 6 presenta los procedimientos de la RBCA en un proceso paso a paso,

1.3.6 El Apéndice X1 detalla las características físicas, químicas y toxicológicas de los productos derivados del petróleo,

1.3.7 El Apéndice X2 trata acerca de la obtención de una tabla de consulta del RBSL del Nivel 1 y proporciona un ejemplo,

1.3.8 El Apéndice X3 describe los usos del modelado de predicción en relación con el proceso de la RBCA,

1.3.9 El Apéndice X4 trata acerca de las consideraciones para los controles institucionales, y

1.3.10 El Apéndice X5 proporciona ejemplos de aplicaciones de la RBCA.

1.4 Esta guía describe un método para ejecutar una RBCA. Se intenta complementar, pero no sustituir, las reglamentaciones federales, estatales y locales. En tanto, puede ser necesaria la aprobación de la repartición federal, estatal o local, a fin de implementar los procesos que se describen en esta guía.

1.5 Los valores que se indican en pulgadas-libras o en el Sistema Internacional de Unidades deben considerarse valores convencionales. Los valores entre paréntesis se incluyen sólo a título informativo.

1.6 *Esta norma no pretende tratar todas las preocupaciones en cuanto a la seguridad asociados con su utilización, si los hubiere. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer adecuadas prácticas de seguridad e higiene y determinar la aplicación de limitaciones de reglamentación antes de su utilización.*

2. Documentos a los que se hace referencia

2.1 Normas ASTM

Guía E 1599 para la acción correctiva ante fugas de petróleo² [*E 1599 Guide for Corrective Action for Petroleum Releases*].

2.2 Norma del Ente Nacional de Protección Contra Incendios [*National Fire Protection Agency (NFPA)*]:

NFPA 329. Manejo de fugas subterráneas de líquidos inflamables y combustibles³ [*NFPA*

329*Handling Underground Releases of Flammable and Combustible Liquids*].

3. Terminología

3.1 Definiciones de los términos específicos de la presente Norma:

3.1.1 *remediación activa* – medidas que se toman para reducir las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés. La remediación activa puede implementarse cuando no resultan adecuadas las medidas que no requieren una acción de respuesta posterior ni aquellas de remediación pasiva.

3.1.2 *atenuación* – la reducción de las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés en el medio ambiente en términos de distancia y tiempo, debido a procesos tales como difusión, dispersión, absorción, degradación química, biodegradación, entre otros.

3.1.3 *Sustancia(s) química(s) de interés* – componentes específicos que se identifican para su estudio en el proceso de evaluación de riesgos.

3.1.4 *acción correctiva* – la secuencia de acciones que se toman, entre las que se incluyen: evaluación del sitio, acción de remediación temporaria, acción de remediación, operación y mantenimiento de equipos, monitoreo del progreso y finalización de la acción de remediación.

3.1.5 *vías de exposición directa* – una vía de exposición en la cual el punto de exposición se encuentra en la fuente, sin fuga de producto a otro medio.

3.1.6 *evaluación ecológica* – una valuación cualitativa de los efectos reales o potenciales de la o las sustancias químicas de interés en plantas y animales distintos de los seres humanos y las especies domésticas.

3.1.7 *controles de ingeniería* – modificaciones realizadas a un sitio o una instalación (por ejemplo paredes de pasta aguada, colocación de cubiertas y tratamiento del agua en el punto de uso) para reducir o eliminar la posibilidad de exposición a sustancia(s) químicas de interés.

3.1.8 *exposición* – el contacto de un organismo con la o las sustancias químicas de interés en los límites de intercambio (por ejemplo la piel, los pulmones y el hígado), que se encuentran disponibles para que se las absorba.

3.1.9 *evaluación de la exposición* – la determinación o la estimación (cualitativa o cuantitativa) de la magnitud, frecuencia, duración y ruta de exposición.

3.1.10 *vía de exposición* – el curso de la o las sustancias químicas de interés desde el o las áreas de la fuente hasta un organismo expuesto. Una vía de exposición describe un mecanismo único por medio del cual un individuo o una población se encuentran

² *Anuario de Normas de la ASTM*, Volumen 11.04.

³ Disponible en el Ente Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), 1 Batterymarch Park, P.O. Box 9101, Quincy, MA 02269.

expuestos a la o las sustancias químicas de interés que se originan en un sitio. Cada vía de exposición incluye una fuente o una fuga proveniente de una fuente, un punto de exposición y una ruta de exposición. En caso de que el punto de exposición sea diferente a la fuente, también se incluye un medio o medios de transporte o de exposición (por ejemplo, el aire).

3.1.11 *ruta de exposición* – la forma en la cual la o las sustancias químicas de interés entran en contacto con un organismo (por ejemplo, por medio de ingestión, inhalación y por contacto con la piel).

3.1.12 *instalaciones* – el inmueble que contiene la fuente de la o las sustancias químicas de interés en donde ha ocurrido una fuga de producto.

3.1.13 *índice de peligro* – la suma de dos o más coeficientes de peligro para múltiples sustancias químicas de interés o múltiples vías de exposición, o ambas.

3.1.14 *coeficientes de peligro* – la relación entre el nivel de exposición de la o las sustancias químicas de interés en un período de tiempo especificado y una dosis de referencia de tal o tales sustancias químicas de interés, derivada para un período de exposición similar.

3.1.15 *niveles progresivos de riesgo carcinogénico* – la posibilidad de mayores efectos carcinogénicos sobre la salud del ser humano, debido a la exposición a la o las sustancias químicas de interés.

3.1.16 *vías de exposición indirecta* – una vía de exposición con, por lo menos, una fuga intermedia a cualquier medio entre la fuente y el o los puntos de exposición (por ejemplo, sustancias químicas de interés desde el suelo, a través del agua subterránea, hasta el o los puntos de exposición).

3.1.17 *controles institucionales* – la restricción respecto del uso de un sitio o una instalación, o el acceso a ellos (por ejemplo, cercos, restricciones en escrituras públicas, zonificación restrictiva) para eliminar o minimizar la potencial exposición a la o las sustancias químicas de interés.

3.1.18 *acción de remediación temporaria* – la acción para mitigar peligros de incendio y de seguridad, así como para evitar posteriores migraciones de hidrocarburos en fase de vapor, fase disuelta o fase líquida.

3.1.19 *nivel máximo de agentes contaminantes [Maximum Contaminant Level (MCL)]* – una norma para el agua potable establecida por el EPA de EUA, de conformidad con la Ley de Agua Potable Segura [Safe Drinking Water Act], que consiste en el nivel máximo permitido de la o las sustancias químicas de interés en el agua que reciben los usuarios de una red pública de suministro de esta.

3.1.20 *simulación Monte Carlo* – un procedimiento para estimar el valor y la

incertidumbre del resultado de un cálculo cuando el resultado depende de una serie de factores, cada uno de los cuales también es incierto.

3.1.21 *biodegradación natural* – la reducción de la concentración de la o las sustancias químicas de interés a través de actividad microbiana de incidencia natural.

3.1.22 *petróleo* – incluido el crudo o cualquier fracción de este que se encuentra en estado líquido en condiciones normales de temperatura y presión (60° F y 14,7 libras/ pulgadas cuadradas absolutas; (15,5° C y 10.335,6 kg/m²)). El término comprende sustancias con base de petróleo que incluyen una mezcla compleja de hidrocarburos derivados del crudo a través de procesos de separación, conversión, refinado y terminación, tales como, combustibles para motores diesel, combustibles para reactores, lubricantes, solventes de petróleo y aceites usados.

3.1.23 *punto(s) de cumplimiento* – uno o varios lugares seleccionados entre el o las áreas de la fuente y el o los potenciales puntos de exposición, en donde las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés deben estar en los niveles objetivo o por debajo de ellos según los medios (por ejemplo, agua subterránea, suelo o aire).

3.1.24 *puntos de exposición* – los puntos en los que una persona o una población pueden entrar en contacto con la o las sustancias químicas de interés que se originen en un sitio.

3.1.25 *análisis cualitativo de riesgos* – una evaluación no numérica de un sitio para determinar las posibles vías de exposición y los posibles receptores, basándose en información conocida o fácilmente disponible.

3.1.26 *exposición máxima razonable [Reasonable Maximum Exposure (RME)]* – la exposición más alta que se espera razonablemente ocurra en un sitio. Las exposiciones máximas razonables se estiman para vías de exposición individuales o para una combinación de ellas.

3.1.27 *escenario de exposición potencial razonable* – una situación con una posibilidad de incidencia verosímil, en donde un receptor puede estar expuesto en forma directa o indirecta a la o las sustancias químicas de interés, sin tomar en cuenta circunstancias extremas o esencialmente imposibles.

3.1.28 *uso futuro razonablemente anticipado* – uso futuro de un sitio o una instalación que puede preverse con un alto grado de certeza dado su uso actual, el planeamiento del gobierno local y la zonificación.

3.1.29 *receptores* – personas, estructuras, servicios públicos, aguas de superficie y pozos de suministro de agua que se ven afectados o pueden verse afectados en forma nociva por una fuga de producto.

3.1.30 *dosis de referencia* – un valor de toxicidad preferido para evaluar los posibles efectos carcinógenos en los humanos, que resultan de la exposición a la o las sustancias químicas de interés.

3.1.31 *remediación / acción de remediación* – actividades que se llevan a cabo para proteger la salud de los seres humanos, la seguridad y el medio ambiente. Estas actividades incluyen evaluación de riesgos, determinaciones por las cuales no es necesaria una acción de respuesta posterior, monitoreo de controles institucionales, controles de ingeniería, así como también, diseño y operación de equipos de limpieza.

3.1.32 *evaluación de riesgos* – un análisis de la posibilidad de que aparezcan efectos nocivos para la salud, provocados por la o las sustancias químicas de interés provenientes de un sitio, a fin de determinar la necesidad de acciones de remediación o el desarrollo de niveles objetivo en los que se requiere acción de remediación.

3.1.33 *reducción de riesgos* – la disminución o la eliminación del nivel de riesgos para la salud del ser humano o para el medio ambiente, a través de una acción de remediación temporaria, acción de remediación o bien, controles institucionales o de ingeniería.

3.1.34 *nivel/ niveles de selección basados en riesgos [Risk-Based Screening Levels (RBSL)]* – niveles objetivo de acción correctiva basados en riesgos específicos de un sitio para la o las sustancias químicas de interés, desarrollados de conformidad con la evaluación del Nivel 1.

3.1.35 *sitio* – área(s) definida(s) por la extensión de la migración de las o las sustancias químicas de interés.

3.1.36 *evaluación de un sitio* – una evaluación de la geología y la hidrología subterráneas, además de las características de superficie, para determinar: si se ha producido una fuga de producto, los niveles de la o las sustancias químicas de interés y la extensión de la migración de la(s) sustancia(s) química(s) de interés. En la evaluación de un sitio, se recolectan datos acerca de la calidad del agua subterránea y los posibles receptores y también se genera información para respaldar las decisiones de acción de remediación.

3.1.37 *clasificación de un sitio* – una evaluación cualitativa de un sitio basada en información conocida o fácilmente disponible, para identificar la necesidad de acciones de remediación temporarias y una recolección posterior de información. A través de la clasificación de sitios, se pretende definir las prioridades de cada uno de ellos.

3.1.38 *nivel objetivo específico de un sitio [Site-Specific Target Level (SSTL)]* – nivel objetivo de acción de remediación basado en riesgos para la o las sustancias químicas de interés, desarrollado para

un sitio en particular, de conformidad con las evaluaciones del Nivel 2 y Nivel 3.

3.1.39 *específico(a) del sitio* – actividades, información y datos únicos de un sitio en particular.

3.1.40 *área(s) de la fuente* – la ubicación de hidrocarburos líquidos o la ubicación de las concentraciones más altas de la o las sustancias químicas de interés en suelo y agua subterránea.

3.1.41 *niveles objetivo* – valores numéricos u otros criterios de ejecución que protegen la salud de los seres humanos, la seguridad y el medio ambiente.

3.1.42 *evaluación del Nivel 1* – un análisis basado en riesgos por el cual se desarrollan valores no específicos de un sitio para las vías de exposición directa e indirecta, mediante la aplicación de factores de exposición conservadores, así como también, destino y transporte para posibles vías y diversas categorías de uso del inmueble (por ejemplo: uso residencial, comercial e industrial). Los valores que se establecen de conformidad con el Nivel 1 se aplicarán a todos los sitios que se clasifiquen dentro de una categoría en particular.

3.1.43 *evaluación del Nivel 2* – un análisis basado en riesgos en el que se aplican valores de exposición directa, determinados de conformidad con la evaluación del Nivel 1 en el o los puntos de exposición, que se desarrollan para un sitio en particular, así como también, la determinación de valores para posibles vías de exposición indirecta en el o los puntos de exposición, basados en condiciones específicas de un sitio.

3.1.44 *evaluación del Nivel 3* – un análisis basado en riesgos por el cual se desarrollan valores para posibles vías de exposición directa e indirecta en el o los puntos de exposición, según las condiciones específicas de un sitio.

3.1.45 *usuario* – un individuo o un grupo con participación en el proceso de la RBCA, incluidos propietarios, operadores, agentes reguladores, administradores del fondo de tanques de almacenamiento subterráneo [*Underground Storage Tank - UST*], abogados, consultores, legisladores, etcétera.

4. Importancia y uso

4.1 La asignación de recursos limitados (por ejemplo tiempo, dinero, supervisión de reglamentación, profesionales calificados) a cualquier sitio con fuga de petróleo, necesariamente influye en las decisiones respecto de la acción correctiva en otros sitios. Esto ha alentado la búsqueda de métodos innovadores para la toma de decisiones en función a la acción correctiva, que aseguren la protección de la salud de los seres humanos y el medio ambiente.

4.2 El proceso de la RBCA que se presenta en esta guía es un proceso de decisiones racionalizadas y coherentes para seleccionar las acciones correctivas en sitios con fuga de petróleo. A continuación, se enumeran las ventajas del método de la RBCA:

4.2.1 Las decisiones se basan en la reducción del riesgo de impactos nocivos sobre los seres humanos o el medio ambiente;

4.2.2 Las actividades de evaluación del sitio se enfocan en la recolección únicamente de información necesaria para la toma de decisiones respecto de acciones correctivas basadas en riesgos,

4.2.3 Los recursos limitados se centran en aquellos sitios que representan el mayor riesgo para la salud de los seres humanos y para el medio ambiente en cualquier momento.

4.2.4 La acción de remediación logra un grado aceptable de reducción de la exposición y del riesgo.

4.2.5 El cumplimiento se puede evaluar en relación con normas específicas de un sitio, aplicadas en punto(s) de cumplimiento específico(s) del sitio.

4.2.6 Limpiezas de mayor calidad y, en algunos casos, más rápidas que las actuales, y

4.2.7 Documentación y demostración de que la acción de remediación protege la salud de los seres humanos, la seguridad y el medio ambiente.

4.3 La evaluación de riesgos es una ciencia en desarrollo. El método científico utilizado para desarrollar los RBSL y los SSTL puede variar según el estado y el usuario, debido a requisitos de reglamentación y al uso de métodos alternativos con base científica.

4.4 Las actividades que se describen en esta guía deben ser llevadas a cabo por una persona familiarizada con las metodologías actuales de evaluación de riesgos y de exposición.

4.5 A fin de aplicar el proceso de la RBCA en forma adecuada, el usuario deberá evitar lo siguiente:

4.5.1 Utilización de RBSL del Nivel 1 como norma de remediación obligatoria, en lugar de niveles de selección;

4.5.2 Restricción del proceso de la RBCA a la evaluación del Nivel 1 solamente y no permitir los análisis del Nivel 2 y Nivel 3,

4.5.3 Utilización de restricciones de tiempo arbitrarias para el proceso de acción correctiva. Por ejemplo: exigir que los Niveles 1, 2 y 3 se completen dentro de períodos de 30 días y no reflejen la urgencia real del sitio y los riesgos que así se acarrearán;

4.5.4 Utilización del proceso de la RBCA sólo cuando la remediación activa no es técnicamente posible, en lugar de un proceso que sea aplicable durante todas las fases de la acción correctiva;

4.5.5 Exigencia de que el usuario logre límites de remediación fundamentados en la tecnología (por ejemplo niveles asintóticos) antes de solicitar la aprobación del RBSL o el SSTL;

4.5.6 Utilización de modelado de predicción que no está respaldado por datos o conocimientos disponibles acerca de las condiciones del sitio;

4.5.7 Establecimiento de que los objetivos de acción correctiva sólo se pueden lograr a través de acciones de eliminación y tratamiento de la fuente, por ende restringiendo el uso de opciones de reducción de exposición tales como controles de ingeniería e institucionales;

4.5.8 Utilización de factores de exposición injustificados o inadecuados;

4.5.9 Utilización de parámetros de toxicidad injustificados o inadecuados;

4.5.10 Descuido de los criterios estéticos y de otra índole, al determinar los RBSL o SSTL,

4.5.11 Falta de consideración de los efectos de la aditividad al seleccionar múltiples sustancias químicas,

4.5.12 Falta de evaluación de opciones para controles de ingeniería o institucionales, punto(s) de exposición, punto(s) de cumplimiento y niveles de riesgo carcinogénico antes de presentar planes de acción de remediación,

4.5.13 Falta de conservación de controles de ingeniería e institucionales, y

4.5.14 Requerimiento de monitoreo o acción de remediación continuos en sitios que han alcanzado los RBSL o SSTL.

5. Método dividido en niveles para la acción correctiva basada en riesgos, de aplicación en sitios con fuga de petróleo

5.1 La RBCA es la integración de evaluación del sitio, selección de acción de remediación y monitoreo con las prácticas de evaluación de riesgos y de exposición recomendadas por el EPA de EUA. Esta integración crea un proceso por medio del cual las decisiones respecto de la acción correctiva se realizan de una forma coherente que protege la salud de los seres humanos y el medio ambiente.

5.2 El proceso de RBCA se implementa por medio de un método dividido en niveles, que incluye niveles de recolección y análisis de datos cada vez más sofisticados. Las premisas de niveles anteriores se reemplazan por datos e información específicos del sitio. Al evaluar cada nivel, el usuario revé los resultados y las recomendaciones y decide si se justifica un análisis más específico del sitio o no.

5.3 *Evaluación de un sitio* – El usuario debe identificar las fuentes de la o las sustancias químicas de interés, los impactos evidentes sobre el medio ambiente (en caso de haberlos), cualesquiera sean los receptores humanos o ambientales que tengan

posibilidad de verse afectados por el impacto (por ejemplo trabajadores, residentes, cuerpos de agua, etcétera) y vías de transporte potencialmente importantes (por ejemplo, flujo de agua subterránea, servicios públicos, dispersión atmosférica, etcétera). La evaluación del sitio también incluirá información recolectada de registros históricos y una inspección visual del sitio.

5.4 *Clasificación de un sitio* – Los sitios se clasifican según la urgencia de la necesidad de acción de respuesta inicial, sobre la base de información recolectada durante la evaluación del sitio. Las acciones de respuesta inicial, que deben implementarse en forma simultánea con el proceso de la RBCA, se asocian con las clasificaciones de los sitios. Los sitios deberán reclasificarse a medida que se lleven a cabo acciones para resolver preocupaciones de interés o bien, cuando se disponga de mejor información.

5.5 *Evaluación del Nivel 1* - Para determinar si las condiciones del sitio satisfacen los criterios de un cierre reglamentario rápido o justifican una evaluación más específica del sitio, se utiliza una tabla de consulta que contiene las concentraciones de los niveles de selección. En esta tabla, pueden incluirse las concentraciones de agua subterránea, suelo y vapor a fin de conformar una gama de descripciones del sitio y de los tipos de productos provenientes del petróleo (por ejemplo, gasolina, crudo, etcétera). La tabla de consulta de RBSL se desarrolla en el Nivel 1 o, en caso de que se hubiera creado una tabla de consulta con anterioridad y se determine que el usuario puede aplicarla al sitio, entonces se utilizan los RBSL existentes en el proceso del Nivel 1. Los RBSL del Nivel 1 se obtienen habitualmente para escenarios convencionales de exposición, mediante los parámetros actuales de exposición máxima razonable (RME) y aquellos toxicológicos, tal como lo recomienda el EPA de EUA. Estos valores pueden cambiar a medida que se desarrollan nuevas metodologías y parámetros. Los RBSL del Nivel 1 pueden presentarse como una escala de valores, los que corresponden a los diversos riesgos o usos del inmueble.

5.6 *Evaluación del Nivel 2* – El nivel 2 proporciona al usuario una opción para determinar los SSTL y el o los puntos de cumplimiento. Es importante observar que tanto el RBSL del Nivel 1 y los SSTL del Nivel 2 se basan en la obtención de niveles similares de protección de la salud de los seres humanos y el medio ambiente (por ejemplo, niveles de riesgo de 10^{-4} a 10^{-6}). Sin embargo, en el Nivel 2, las premisas y el o los puntos de exposición no específicos del sitio utilizados en el Nivel 1 se reemplazan por datos e información específicos del sitio. Asimismo, se pueden necesitar datos

adicionales de evaluación del sitio. Por ejemplo, el SSTL del Nivel 2 se puede obtener gracias a las mismas ecuaciones utilizadas para calcular el RBSL del Nivel 1, excepto que en los cálculos, se utilizan parámetros específicos del sitio. Los datos adicionales específicos del sitio pueden respaldar un análisis alternativo de destino y transporte. En otros sitios, el análisis del Nivel 2 puede incluir la aplicación de los RBSL del Nivel 1 en el o los puntos de exposición más probables. Los SSTL del Nivel 2 son coherentes con las prácticas recomendadas por el EPA de EUA.

5.7 *Evaluación del Nivel 3* – El Nivel 3 proporciona al usuario una opción para determinar los SSTL para las vías directa e indirecta, a través de parámetros y el o los puntos de exposición y de cumplimiento específicos del sitio cuando se considera que los SSTL del Nivel 2 no deberían utilizarse como niveles objetivo. En general, el Nivel 3 puede implicar un esfuerzo importante y progresivo en relación con los Niveles 1 y 2, dado que la evaluación es mucho más compleja y puede incluir los siguientes elementos: evaluación adicional del sitio, evaluaciones probabilísticas y modelos químicos sofisticados de destino/transporte.

5.8 *Acción de remediación* – Si las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés en un sitio se encuentran por encima del RBSL o el SSTL en el o los puntos de cumplimiento del área de la fuente, o supera ambos, y el usuario determina que debe utilizarse el RBSL o el SSTL como niveles objetivo de acción de remediación, se deberá desarrollar un plan de acción de remediación para reducir la posibilidad de impactos nocivos. El usuario puede utilizar procesos de remediación para reducir las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés a niveles inferiores o iguales a los niveles objetivo, o bien, lograr la reducción (o eliminación) de la exposición por medio de los controles institucionales que se tratan en el Apéndice X4, o a través de la aplicación de controles de ingeniería, tales como colocación de cubiertas y control hidráulico.

6. Procedimientos de la acción correctiva basada en riesgos (RBCA)

6.1 La secuencia de las principales tareas y decisiones asociadas con el proceso de RBCA se resume en el diagrama de flujo que se exhibe en la Figura 1. A continuación, se trata cada una de estas acciones y decisiones.

6.2 *Evaluación del sitio* – Se recolecta la información necesaria para la clasificación del sitio, la acción de respuesta inicial, la comparación con el RBSL y la determinación del SSTL. La evaluación del sitio se puede realizar de conformidad con la

Guía E 1599. Cada nivel posterior requerirá datos e información adicionales que sean específicos del sitio, los que se deben recolectar a medida que se lleva a cabo el proceso de la RBCA. El usuario puede obtener datos e información específicos del sitio o estimar valores razonables para las principales características físicas del sitio mediante los datos de la topografía del suelo y otro tipo de información disponible. Los datos de caracterización del sitio deben resumirse en un formato claro y conciso.

6.2.1 La información de evaluación del sitio para la evaluación del Nivel 1 puede incluir los elementos que se indican a continuación:

6.2.1.1 Una revisión de los registros históricos de las actividades del sitio y fugas anteriores;

6.2.1.2 Identificación de la o las sustancias químicas de interés;

6.2.1.3 Ubicación de las principales fuentes de la o las sustancias químicas de interés;

6.2.1.4 Ubicación de las concentraciones máximas de la o las sustancias químicas de interés en suelo y agua subterránea;

6.2.1.5 Ubicación de receptores humanos y ambientales que podrían verse afectados (punto(s) de exposición);

6.2.1.6 Identificación de posibles vías de transporte y exposición de importancia (transporte a través del agua subterránea, migración de vapor a través del suelo y los servicios públicos, etcétera);

6.2.1.7 Determinación del aprovechamiento actual del sitio y las tierras, el agua subterránea, agua de superficie y los habitantes sensibles, que se encuentran en las cercanías, o de su posible aprovechamiento futuro;

6.2.1.8 Determinación de características hidrogeológicas y geológicas regionales (por ejemplo, profundidad al agua subterránea, espesor de acuíferos, dirección de flujo, pendiente, descripción de las unidades de confinamiento y calidad del agua subterránea); y

6.2.1.9 Una evaluación cualitativa de los impactos sobre los receptores ambientales.

6.2.2 Además de la información recolectada de conformidad con el punto 6.2.1, la información de evaluación del sitio para la evaluación del Nivel 2 puede incluir lo siguiente:

6.2.2.1 Determinación de características hidrogeológicas y geológicas específicas del sitio (por ejemplo, profundidad al agua subterránea, espesor de acuíferos, dirección de flujo, pendiente, descripción de las unidades de confinamiento y calidad del agua subterránea),

6.2.2.2 Determinación de la extensión de la o las sustancias químicas de interés en relación con el RBSL o el SSTL, según corresponda;

6.2.2.3 Determinación de cambios en las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés con el transcurso del tiempo (por ejemplo: estables, en aumento, en disminución); y

6.2.2.4 Determinación de las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés medida(s) en el o los puntos de exposición (por ejemplo: concentraciones disueltas en pozos de agua potable cercanos o concentraciones de vapor en conductos o alcantarillas circundantes).

6.2.3 Además de la información recolectada según los puntos 6.2.1 y 6.2.2, la información de evaluación del sitio para la evaluación del Nivel 3 incluye información adicional necesaria para realizar esfuerzos de modelado específicos del sitio.

6.3 *Clasificación del sitio y acción de respuesta inicial* – A medida que el usuario recolecta información, se deben evaluar las condiciones del sitio e implementar una acción de respuesta inicial que sea coherente con tales condiciones. Este proceso se repite cuando aparecen datos nuevos que indican un cambio importante en las condiciones del sitio. En la Tabla 1, se podrán encontrar las clasificaciones de los sitios según su urgencia, junto a ejemplos de escenarios de clasificación y posibles respuestas iniciales. *Obsérvese que las acciones de respuesta inicial proporcionadas en la Tabla 1 pueden no ser de aplicación en todos los sitios. El usuario deberá seleccionar la opción con la que mejor se puedan encarar las preocupaciones a corto plazo del sitio en cuanto a la salud y la seguridad, mientras implementa el proceso de RBCA.*

6.3.1 El plan de clasificación y acción de respuesta inicial que se proporciona en la Tabla 1 es sólo un ejemplo; se basa en el grado de peligro, tanto actual como proyectado, para la salud de los seres humanos y para el medio ambiente. Es una característica del proceso que el usuario puede adaptar a sus necesidades. Los sitios dentro de la “Clasificación 1” se asocian con amenazas inmediatas a la salud de los seres humanos y al medio ambiente. Los sitios dentro de la “Clasificación 2” se relacionan con amenazas a corto plazo (entre 0 y 2 años) a la salud de los seres humanos, la seguridad y el medio ambiente. Los sitios dentro de la “Clasificación 3” se asocian con amenazas a largo plazo (superiores a los 2 años) a la salud de los seres humanos, la seguridad y el medio ambiente. En tanto, los sitios con “Clasificación 4” se vinculan a la inexistencia de una posible amenaza razonable a la salud de los seres humanos o el medio ambiente.

6.3.2 En la Tabla 1, se indica una acción de respuesta inicial para cada escenario de clasificación. Las acciones de respuesta inicial se implementan para eliminar cualquier posible

impacto inmediato sobre la salud de los seres humanos y el medio ambiente, así como también, para minimizar la posibilidad de impactos futuros que pueden ocurrir a medida que el usuario lleva a cabo el proceso de RBCA. Obsérvese que las acciones de respuesta inicial no siempre requieren remediación activa. En muchos casos, la acción de respuesta inicial implica monitorear o continuar evaluando las condiciones del sitio para asegurarse de que los peligros que presenta el sitio no aumenten por encima de los niveles aceptables con el correr del tiempo. Las acciones de respuesta inicial que se proporcionan en la Tabla 1 son solamente ejemplos, por lo cual el usuario podrá implementar otras alternativas.

6.3.3 La necesidad de reclasificar el sitio podría evaluarse cuando se recolecte información adicional sobre el sitio que indique un cambio importante en las condiciones de este o cuando la implementación

de una acción de respuesta temporaria produzca un cambio importante en las condiciones del sitio.

6.4 *Desarrollo de una tabla de consulta de RBSL del Nivel 1* – En caso de no disponer de una tabla de consulta, el usuario es responsable de desarrollar una. Si hubiera una tabla de consulta disponible, el usuario debe determinar si los RBSL indicados en ella se basan en metodologías y parámetros aceptables en ese momento. La tabla de consulta proporciona información acerca de las posibles vías de exposición, los medios (por ejemplo, suelo, agua y aire), una escala de niveles progresivos de riesgo carcinogénico (los niveles $10E-4$ a $10E-6$, con frecuencia, se evalúan tal como se indica en el Apéndice X1, párrafo X1.7. Exposición sobre el riesgo aceptable y coeficientes de peligro iguales a la unidad, y posibles escenarios de exposición (por ejemplo: residencial, comercial, industrial y agrícola) para cada sustancia química de interés.

6.5

[Insertar diagrama de flujo: Risk-Based Action Process Flowchart ; FIG. 1 Diagrama de flujo del proceso de una acción correctiva basada en riesgos]

TABLA 1 Ejemplo de clasificación de un sitio y acciones de respuesta inicial ^A

Criterios y escenarios establecidos	Ejemplo de acciones de respuesta inicial ^B
<p>1. Amenaza inmediata para la salud de los seres humanos, la seguridad o receptores ambientales sensibles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hay niveles explosivos o concentraciones de vapores en una residencia u otra edificación que podrían provocar efectos graves para la salud. • Hay niveles explosivos de vapores en sistema(s) de servicios públicos subterráneo, pero no hay edificaciones ni residencias que se vean afectados. • Hay presencia de producto libre en cantidades importantes sobre la superficie del terreno, en cuerpos de agua de superficie, en servicios públicos que no sean los sistemas de suministro de agua, o en escurrimientos de agua de superficie. • Un pozo activo de suministro público de agua, una cañería de suministro público de agua o una toma de agua de superficie para uso público se han visto afectados o están amenazados en forma inmediata. • Las concentraciones de vapor o los particulados en el ambiente exceden las concentraciones de interés desde el aspecto de una exposición grave o de seguridad. • Un hábitat sensible o recursos sensibles (peces que se pescan por deporte, especies importantes desde el punto de vista económico, especies amenazadas o en peligro, etcétera) han recibido el impacto y se ven afectados. 	<p>Notificar a las autoridades, los dueños de inmuebles y las partes potencialmente afectadas que correspondan, y sólo evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evacuar a los ocupantes e iniciar medidas de disminución, tales como ventilación subterránea o presurización de la edificación. • Evacuar las inmediaciones y comenzar con medidas de disminución tales como ventilación. • Evitar una mayor migración del producto libre a través de las medidas de confinamiento adecuadas, instaurar la recuperación del producto libre y restringir el acceso al área. • Notificar al/ los usuario(s), proporcionar un suministro de agua alternativo, controlar el agua contaminada mediante métodos hidráulicos y tratar el agua en el punto de uso. • Instalar barreras para vapores (colocación de cubiertas, espumas, etcétera), eliminar la fuente o restringir el acceso al área afectada. • Minimizar el alcance del impacto por medio de medidas de confinamiento e implementar un manejo del hábitat para minimizar la exposición.
<p>2. Amenaza a corto plazo (entre 0 y 2 años) para la salud de los seres humanos, la seguridad o para receptores ambientales sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existe la posibilidad de niveles explosivos o concentraciones de vapores que podrían provocar efectos de gravedad, se acumulen en una residencia u otra edificación. • Los suelos de superficie de poca profundidad que están contaminados, se encuentran abiertos al acceso del público; hay viviendas, parques, áreas de juego para niños, guarderías, escuelas o instalaciones con usos similares que se encuentran dentro de los 500 pies (152 metros) de esos suelos. • Un pozo de suministro de agua no potable ha recibido un impacto o está amenazado en forma inmediata. • El agua subterránea ha recibido impacto y existe un pozo de suministro de agua de uso público o doméstico, que obtiene agua desde el acuífero que ha recibido el impacto, y se encuentra dentro de una distancia proyectada de desplazamiento de dos años para el agua subterránea. • El agua subterránea ha recibido impacto y hay un pozo de suministro de agua de uso público o doméstico, que toma el agua de un intervalo diferente, y se encuentra ubicado dentro de la extensión conocida de las sustancias químicas de interés. • El agua de superficie, el agua pluvial o agua subterránea, todas con impacto, descargan dentro de los 500 pies (152 metros) de un hábitat sensible o de un cuerpo de agua de superficie utilizado para obtener agua potable apta para el consumo humano o para recreación con contacto con ella. 	<p>Notificar a las autoridades, los dueños de inmuebles y las partes potencialmente afectadas que correspondan, y sólo evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la posibilidad de migración de vapor (por medio de monitoreo y modelado) y eliminar la fuente (en caso de ser necesario), o instalar barreras contra la migración de vapores. • Eliminar los suelos, cubrir los suelos o restringir el acceso al área. • Notificar al dueño o al usuario y evaluar la necesidad de implementar un tratamiento de aguas en el punto de uso, control hidráulico o un suministro de agua alternativo. • Implementar el monitoreo y luego evaluar si la atenuación natural es suficiente o si se necesita control hidráulico. • Monitorear la calidad del pozo de agua subterránea y evaluar si se necesita control para evitar una migración vertical al pozo de suministro. • Implementar medidas de confinamiento, restringir el acceso a áreas cercanas al vertido y evaluar la magnitud y el impacto de la descarga.

^A Johnson, P. Q., De Vaull, G. E., Ettinger, R.A., MacDonald, R.L.M., Stanley, C.C, Westby, T. S. y Conner, J. “*Risk Based Corrective Action: Tier 1 Guidance Manual*” [Acción Correctiva Basada en Riesgos: Manual de Guía del Nivel 1], Shell Oil Co., julio de 1993.

^B Obsérvese que estas son posibles acciones de respuesta inicial que pueden no ser adecuadas para todos los sitios. Se sugiere al usuario que seleccione las opciones que mejor se adaptan a los temas de interés a corto plazo respecto de la salud y la seguridad del sitio, a medida que el proceso de RBCA avanza.

TABLA 1 Ejemplo de clasificación de un sitio y acciones de respuesta inicial (continuación)

<p>3. Amenaza a largo plazo (más de dos años) para la salud de los seres humanos, la seguridad o receptores ambientales sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los suelos subterráneos (más de 3 pies (0,9 metros) por debajo de la superficie del terreno) han recibido un impacto importante y la profundidad entre los suelos que han recibido el impacto y el primer acuífero potable es inferior a los 50 pies (15 metros). • El agua subterránea se ha visto afectada y los pozos de suministro de agua potable, que obtienen agua del intervalo que ha recibido el impacto, se encuentran a más de 2 años de distancia de desplazamiento del agua subterránea desde la pluma disuelta. • El agua subterránea se ha visto afectada y hay pozos de suministro de agua no potable que toman agua del intervalo que ha recibido el impacto, se encuentran a más de 2 años de distancia de desplazamiento del agua subterránea desde la pluma disuelta. • El agua subterránea recibió impacto y hay pozos de suministro de agua no potable, que no toman agua del intervalo afectado, que se encuentran dentro de la extensión conocida de la o las sustancias químicas de interés. • El agua de superficie, agua pluvial o agua subterránea, todas que han recibido el impacto, descargan dentro de los 1500 pies (457 metros) de un hábitat sensible o un cuerpo de agua de superficie utilizado para obtener agua potable apta para el consumo humano o para recreación con contacto con ella. • Los suelos de superficie de poca profundidad que están contaminados se encuentran abiertos al acceso del público y hay viviendas, parques, áreas de juego para niños, guarderías, escuelas o instalaciones con usos similares que se encuentran a una distancia superior a los 500 pies (152 metros) de esos suelos. 	<p>Notificar a las autoridades, los dueños de inmuebles y las partes potencialmente afectadas que correspondan, y sólo evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el agua subterránea y determinar la posibilidad de una futura migración de la o las sustancias químicas de interés al acuífero. • Monitorear la pluma disuelta y evaluar la posibilidad de que ocurra atenuación natural y la necesidad de control hidráulico. • Identificar qué uso se le da al agua del pozo, evaluar el efecto del posible impacto, monitorear la pluma disuelta y evaluar si la atenuación natural o el control hidráulico son medidas de control adecuadas. • Monitorear la pluma disuelta, determinar la posibilidad de migración vertical, notificar al usuario y determinar si es probable que haya un impacto. • Investigar el impacto actual sobre el hábitat sensible o sobre los cuerpos de agua de superficie, restringir el acceso al área de descarga (en caso de ser necesario) y evaluar la necesidad de medidas de confinamiento o monitoreo. • Restringir el acceso a los suelos que han recibido el impacto.
<p>4. Amenaza no demostrable a largo plazo para la salud de los seres humanos, la seguridad o receptores ambientales sensibles.</p> <p>Los escenarios de Prioridad 4 incluyen todas las demás condiciones que no se han descrito en las Prioridades 1, 2 y 3 y que son coherentes con la descripción respecto de la prioridad que se indica con anterioridad. Los siguientes son algunos ejemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un acuífero no potable sin uso local se ha visto afectado. • Suelos con impacto se encuentran ubicados a más de 3 pies (0,9 metros) por debajo de la superficie del terreno y a más de 50 pies (15 metros) por encima del acuífero más cercano. • El agua subterránea se ha visto afectada y hay pozos de agua no potable ubicados aguas abajo fuera de la extensión conocida de la o las sustancias químicas de interés, y dichos pozos obtienen el agua de una zona que no ha recibido el impacto. 	<p>Notificar a las autoridades, los dueños de inmuebles y las partes potencialmente afectadas que correspondan, y sólo evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el agua subterránea y evaluar el efecto de la atenuación natural sobre la migración de la pluma disuelta. • Monitorear el agua subterránea y evaluar el efecto de la atenuación natural sobre la migración del lixiviado. • Monitorear el agua subterránea y evaluar el efecto de la atenuación natural sobre la migración de la pluma disuelta.

6.4.1 Se determinan los RBSL mediante la utilización de valores típicos y no específicos de un sitio en el caso de parámetros de exposición y parámetros físicos para los medios. Los RBSL se calculan de conformidad con la metodología sugerida por el EPA de EUA. Para cada escenario de exposición, los RBSL se basan en parámetros de RME del EPA de EUA e información toxicológica actual proporcionada en las Referencias (2, 3) o fuente(s) examinada(s) por pares. En consecuencia, la tabla de consulta de RBSL se actualiza cuando se desarrollan nuevas metodologías y parámetros. En el caso de las vías indirectas, se pueden utilizar modelos de destino y transporte para predecir RBSL en un área de la fuente que corresponda a concentraciones en puntos de exposición. En el Apéndice X2 se exhibe un ejemplo del desarrollo de una tabla de consulta del Nivel 1 y un RBSL. *La Figura 2 y el Apéndice X2 se presentan solamente a efectos de proporcionar un ejemplo del desarrollo del RBSL, y los valores que allí se incluyen no deberán considerarse RBSL propuestos.*

6.4.2 El Apéndice X2 es un ejemplo de una tabla de consulta abreviada de RBSL del Nivel 1 para compuestos de interés relacionados con fugas de petróleo. Los escenarios de exposición que se seleccionaron para el caso dado como ejemplo son escenarios residenciales e industriales/ comerciales caracterizados por los parámetros de RME dispuestos por el EPA de EUA para adultos de sexo masculino. Las premisas y la metodología que se utilizan en el ejemplo se tratan en el Apéndice X2. Obsérvese que, en el ejemplo, no se consideran todas las vías de exposición posibles. En consecuencia, *el usuario siempre debe rever las premisas y la metodología que se utilizan para obtener los valores en una tabla de consulta, con el objeto de asegurarse de que son coherentes con los escenarios de exposición razonables para el sitio que se está considerando, como así también, con las metodologías actualmente aceptadas.* Lo importante de crear una tabla de consulta es que los usuarios no necesitan repetir los cálculos de exposición en cada sitio. La tabla de consulta sólo se modifica cuando se actualizan los parámetros de RME, la información toxicológica o las metodologías recomendadas. Algunos estados han recopilado estas tablas para vías de exposición directa que, en su mayoría, contienen valores idénticos (dado que se basan en las mismas premisas). Los valores de las vías de medios cruzados (por ejemplo volatilización y lixiviación), cuando están disponibles, con frecuencia difieren, debido a aquellos incluyen cálculos de exposición de acoplamiento con ecuaciones de predicción de destino y transporte de sustancias químicas en el medio ambiente. Hasta ahora, en la comunidad técnica, no hay gran acuerdo respecto de los valores no específicos de un sitio para los parámetros de modelo de transporte y destino, o respecto de la elección de los modelos mismos. *Nuevamente, el lector deberá observar que la explicación se presenta sólo a modo de ejemplo abreviado de una tabla de consulta de RBSL del Nivel 1 para compuestos de interés típicos asociados con productos derivados del petróleo.*

6.4.3 *Uso de mediciones del total de hidrocarburos derivados del petróleo* – Con frecuencia, en las evaluaciones de sitios se utilizan diversos métodos de análisis químico que comúnmente se denominan total de hidrocarburos derivados del petróleo [*Total Petroleum Hydrocarbons*] (TPH). Estos métodos suelen determinar la cantidad total de los hidrocarburos presentes como un número único y no proporcionan información acerca de los tipos de hidrocarburos que están presentes. Los métodos de TPH no deben utilizarse en la evaluación de riesgos, ya que la medición general del método de TPH proporciona información insuficiente acerca de las cantidades de la o las distintas sustancias químicas de interés que están presentes.

6.5 *Comparación de las condiciones del sitio con los niveles de selección basados en riesgos correspondientes al Nivel 1 (RBSL)* – En el Nivel 1, se supone que el o los puntos de exposición y el o los puntos de cumplimiento se ubican muy cerca del o las áreas de la fuente o las áreas en donde se han identificado las mayores concentraciones de la o las sustancias químicas de interés. Las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés que se midieron en el o las áreas de la fuente que se identificaron en el sitio, se deben comparar con el RBSL de la tabla de consulta. En caso de no existir suficiente información de evaluación del sitio, el usuario puede optar por comparar los RBSL con límites estadísticos (por ejemplo, niveles superiores de confianza), en lugar de hacerlo con los valores máximos detectados. En tanto, al comparar los RBSL con las concentraciones del sitio, deben tomarse en cuenta las concentraciones de fondo, dado que, algunas veces, los RBSL pueden ser inferiores a tales concentraciones. Cabe destacar que la aditividad de los riesgos no se considera en forma explícita en la evaluación del Nivel 1, dado que se espera que los RBSL tengan aplicación típicamente para una cantidad limitada de sustancias químicas de interés consideradas en la mayoría de los sitios. La aditividad puede tratarse en los análisis del Nivel 2 y Nivel 3. Para llevar a cabo la comparación del Nivel 1:

6.5.1 Seleccione el o los posibles escenarios de exposición del sitio (en caso de haberlos). Los escenarios de exposición se determinan sobre la base de la información de evaluación del sitio, descrita en el punto 6.2;

6.5.2 Basándose en los medios afectados que se han identificado, determine las fuentes primarias, las fuentes secundarias, los mecanismos de transporte y las vías de exposición;

6.5.3 Seleccione los receptores (en caso de haberlos) según del uso actual y el futuro previsto. Tenga en cuenta las restricciones al aprovechamiento del suelo y el aprovechamiento del suelo circundante cuando realice esta selección.

6.5.4 Identifique los escenarios de exposición en donde las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés que se han medido se encuentran por encima del RBSL.

6.6 *Diagrama de flujo de evaluación de exposición* – Durante una evaluación del Nivel 1, se puede utilizar el diagrama de flujo de evaluación de riesgos que se presenta en la Figura 2 a modo de herramienta para guiar al usuario en la selección de los escenarios de exposición adecuados, basándose en información de evaluación del sitio. Esta planilla de trabajo también se puede utilizar en la evaluación de alternativas de acción de remediación. Para completar este diagrama de flujo, siga los siguientes pasos:

6.6.1 Caracterice las fuentes y vías de exposición del sitio utilizando la información resumida obtenida del Nivel 1 para adaptar el diagrama de flujo de evaluación de riesgos al sitio, y marque los pequeños casilleros para cada fuente, mecanismo de transporte y vía de exposición de importancia.

6.6.2 Identifique los receptores y compare las condiciones del sitio con los niveles del Nivel 1: para cada vía de exposición seleccionada, marque la caracterización del receptor (residencial, comercial, etcétera) en donde las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés se encuentran por encima del RBSL. Considere las restricciones al aprovechamiento del suelo y el aprovechamiento del suelo circundante cuando realice esta selección. No marque casilleros si no hay receptores presentes, si es improbable que haya receptores, o si existen controles institucionales que eviten que ocurra tal exposición y sea probable que estos continúen.

6.6.3 Identifique las posibles medidas de acción de remediación. Seleccione las opciones de acción de remediación para reducir o eliminar la exposición a las sustancias químicas de interés.

6.6.4 El diagrama de flujo de evaluación de exposición (Figura 2) se puede utilizar para representar en forma gráfica el efecto de la acción de remediación del Nivel 1. Seleccione la o las medidas de acción de remediación del Nivel 1 (que se exhiben como símbolos de válvula) que puedan romper las líneas que unen las fuentes, los mecanismos de transporte y las vías que ocasionan que la o las sustancias químicas de interés se encuentren por encima del RBSL. Ajuste la combinación de medidas de acción de remediación hasta que no existan posibles receptores que tengan concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés por encima del RBSL cuando las medidas de acción de remediación estén implementadas. Muestre la o las medidas de acción de remediación del Nivel 1 seleccionadas para este sitio que sean más probables, marcando los símbolos de válvula adecuados en el diagrama de flujo y complete con una medida de acción de remediación en el lado derecho de esta figura.

[Insertar diagrama de flujo: Exposure Scenario Evaluation Flowchart; FIG. 2 Diagrama de flujo de la evaluación de escenarios de exposición]

6.7 Evaluación de los resultados de cada nivel – Al finalizar la evaluación de cada nivel, el usuario compara los niveles objetivo (RBSL o SSTL) con las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés en el o los puntos de cumplimiento.

6.7.1 Si las concentraciones de la o las sustancias químicas de interés exceden los niveles objetivo en el o los puntos de cumplimiento, entonces se debe llevar a cabo ya sea una acción de remediación, una acción de remediación temporaria o una evaluación del nivel posterior.

6.7.1.1 *Acción de remediación* – Se diseña e implementa un programa de acción de remediación, que puede incluir alguna combinación de lo siguiente: eliminación de la fuente, tratamiento y tecnologías de confinamiento, como así también, controles de ingeniería e institucionales; a continuación, se proporcionan algunos ejemplos: ventilación del suelo, bioventilación, barboteo de aire, bombeo y tratamiento, además de atenuación natural / remediación pasiva. Cuando las concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés ya no exceden los niveles objetivo en el punto de cumplimiento, entonces el usuario puede optar por dirigirse directamente al punto 6.7.3.

6.7.1.2 *Acción de remediación temporaria* – Si no se puede lograr la reducción de riesgos deseada debido a limitaciones en la tecnología o los recursos, se puede realizar una acción de remediación temporaria, como por ejemplo la eliminación o el tratamiento de “lo más urgente”, para tratar las preocupaciones más importantes, cambiar la clasificación del sitio y facilitar una nueva evaluación del Nivel.

6.7.1.3 *Evaluación del nivel posterior* – Si se justifica ejecutar una evaluación del nivel posterior, se debe recolectar información adicional sobre el sitio para desarrollar SSTL de conformidad con la evaluación del Nivel 2 o Nivel 3. La evaluación del nivel posterior se justifica en los siguientes casos:

- (1) Cuando los fundamentos de los valores del RBSL (por ejemplo: geología, parámetros de exposición, punto(s) de exposición, etcétera) no son representativas de las condiciones específicas del sitio; o
- (2) Cuando el SSTL desarrollado de conformidad con la evaluación del nivel posterior sea muy diferente al RBSL del Nivel 1 o modifique en forma significativa las actividades de acción de remediación; o
- (3) Cuando es posible que el costo de la acción de remediación de los RBSL sea superior al de una evaluación del nivel posterior y una acción de remediación subsiguiente.

6.7.2 Si las concentraciones de sustancias químicas de interés en el punto de cumplimiento son inferiores a los niveles objetivo, pero el usuario no confía en que los datos respalden la conclusión de que las concentraciones no excederán los límites objetivo en el futuro, entonces se debe implementar un plan de monitoreo, a fin de recolectar la suficiente cantidad de datos para llegar a la conclusión de que las concentraciones no excederán los niveles objetivo en el futuro. Una vez que el usuario haya recolectado esta información, entonces debe dirigirse al punto 6.7.3.

6.7.3 Si las concentraciones de sustancias químicas de interés en el punto de cumplimiento son inferiores a los niveles objetivo y el usuario confía en que los datos respaldan la conclusión de que las concentraciones no excederán los niveles objetivo en el futuro, entonces no se necesitan actividades de acción correctiva adicionales y, por ende, el usuario ha terminado el proceso de RBCA. En la práctica, con frecuencia, esto va acompañado de una carta emitida por el ente de reglamentación de supervisión en la que se indica que no se requiere una acción de respuesta posterior.

6.8 *Nivel 2* – El Nivel 2 proporciona al usuario una opción para determinar el o los puntos de cumplimiento específicos del sitio y el correspondiente SSTL para la o las sustancias químicas de interés, aplicable al o los puntos de cumplimiento y la o las áreas de la fuente. Se pueden necesitar datos adicionales de evaluación del sitio. Sin embargo, el esfuerzo progresivo, por lo general, es mínimo en relación con el Nivel 1. Si el usuario completa la evaluación del Nivel 1, en la mayoría de los casos, durante la evaluación del Nivel 2 sólo se considerará una cantidad limitada de vías, escenarios de exposición y sustancia(s) química(s) de interés, dado que muchos de ellos se desestiman durante la evaluación del Nivel 1.

6.8.1 En el Nivel 2, el usuario:

6.8.1.1 Identifica los escenarios de exposición indirecta que deben tratarse y el o los puntos de cumplimiento específicos del sitio que sean adecuados. Para determinar el SSTL en el o las áreas de la fuente, en el o los puntos de cumplimiento o en ambos, se utiliza una combinación de datos de evaluación y resultados de modelado de predicción; o

6.8.1.2 Aplica los valores de la tabla de consulta del RBSL del Nivel 1 a los escenarios de exposición directa en punto(s) de exposición razonable(s) (en contraposición al o las áreas de la fuente, como se hace en el Nivel 1). Los SSTL para la o las áreas de la fuente y el o los puntos de cumplimiento pueden determinarse basándose en la atenuación (reducción en la concentración con la distancia), tanto demostrada como aquella prevista, de compuestos que migran alejándose de la o las áreas de la fuente.

6.8.1.3 En el Apéndice X5, se proporciona un ejemplo de aplicación del Nivel 2.

6.8.2 El Nivel 2 del proceso de RBCA incluye el desarrollo de SSTL basados en la atenuación, tanto medida como aquella prevista, de la o las sustancias químicas de interés hacia afuera del o las áreas de la fuente, por medio de la utilización de modelos matemáticos relativamente simplificados. Los SSTL para el o las áreas de la fuente, con frecuencia, no son iguales al SSTL para el o los puntos de cumplimiento. Las ecuaciones de predicción se caracterizan por lo siguiente:

6.8.2.1 Los modelos son relativamente simplificados y con frecuencia son expresiones algebraicas o semianalíticas;

6.8.2.2 Las entradas del modelo se limitan a datos específicos del sitio posiblemente alcanzables o bien, cantidades que pueden estimarse con facilidad (por ejemplo: porosidad total, densidad del volumen del suelo);

y

6.8.2.3 Los modelos se basan en descripciones de fenómenos físicos y químicos de importancia. La mayoría de los mecanismos que no se toman en cuenta tienen como resultado concentraciones previstas superiores a aquellas que probablemente ocurran (por ejemplo: suponer que hay concentraciones constantes en el o las áreas de la fuente). En el Apéndice X3, se trata el uso de modelos de predicción y se presentan modelos que podrían considerarse para la evaluación del Nivel 2.

6.8.3 *Evaluación del Nivel 2* – Identifique los escenarios de exposición en los cuales las concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés que se han medido son superiores al SSTL en el o los puntos de cumplimiento y evalúe los resultados del nivel de conformidad con el punto 6.7.

6.9 *Nivel 3* – En una evaluación del Nivel 3, los SSTL para el o las áreas de la fuente y el o los puntos de cumplimiento se desarrolla sobre la base de análisis más sofisticados estadísticos y de destino y transporte para agentes contaminantes, con parámetros de entrada específicos del sitio para los escenarios de exposición directa e indirecta. Los SSTL del o las áreas de la fuente y del o los puntos de cumplimiento se desarrollan de forma tal que correspondan a concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés en los puntos de exposición que protegen la salud de los seres humanos y el medio ambiente. Las evaluaciones del Nivel 3 comúnmente incluyen recabado de información adicional e importante sobre el sitio y culminación de esfuerzos de modelado más exhaustivos, en comparación con aquellos que se requieren para una evaluación del Nivel 1 o Nivel 2.

6.9.1 Entre los ejemplos de análisis del Nivel 3, se puede mencionar los siguientes:

6.9.1.1 Uso de códigos numéricos de modelado de agua subterránea que prevén el transporte de agentes contaminantes disueltos que depende del tiempo en condiciones de terrenos con permeabilidad variable en cuanto al espacio, para prever el o los puntos de exposición de las concentraciones;

6.9.1.2 Uso de datos específicos del sitio, modelos matemáticos y análisis Monte Carlo para prever una distribución estadística de las exposiciones y los riesgos de un sitio en particular; y

6.9.1.3 Recolección de suficientes datos para perfeccionar las estimaciones de parámetros específicos del sitio (por ejemplo: índices de biodegradación) y mejorar la exactitud del modelo, con el fin de minimizar futuros requerimientos de monitoreo.

6.9.2 *Evaluación del Nivel 3* – Identifique los escenarios de exposición en los cuales las concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés que se han medido son superiores al SSTL en el o los puntos de cumplimiento y evalúe los resultados del nivel, de conformidad con el punto 6.7, salvo que no se disponga de una actualización del nivel (punto 6.7.5).

6.10 *Implementación del programa de acción de remediación seleccionado* – Cuando el usuario considera que no es necesario realizar más evaluaciones, o no es viable hacerlo, debe realizar una evaluación de alternativas de remediación para confirmar la opción más rentable, a fin de alcanzar los niveles objetivo de acción de remediación final (RBSL o SSTL, según corresponda). Luego, se pueden desarrollar especificaciones de diseño detalladas para la implementación y el funcionamiento de la medida seleccionada. La acción de remediación debe continuar hasta el momento en que los controles indiquen que las concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés ya no se encuentran por encima del RBSL o el SSTL, según corresponda, en los puntos de cumplimiento, en el o las áreas de la fuente o en ambos.

6.11 *Informe de RBCA* – Luego de finalizar las actividades de RBCA, se debe preparar un informe de RBCA y se lo debe entregar al ente de reglamentación. Este informe de RBCA debe, como mínimo, contener los elementos que se indican a continuación:

6.11.1 Resumen de ejecución;

6.11.2 Descripción del sitio;

6.11.3 Resumen de la información referente al propietario del sitio y su uso;

6.11.4 Resumen de fugas de producto que ocurrieron en el pasado o de posibles áreas de la fuente;

6.11.5 Resumen de las actividades actuales del sitio y de aquellas terminadas;

6.11.6 Descripción de las condiciones hidrogeológicas regionales;

- 6.11.7 Descripción de las condiciones hidrogeológicas específicas del sitio;
 - 6.11.8 Resumen del usufructo;
 - 6.11.9 Resumen y análisis de la evaluación de riesgos (identificación de peligros, evaluación de la respuesta en relación con la dosis, evaluación de la exposición y caracterización de riesgos), incluidos los métodos y las premisas utilizados para calcular el RBSL o el SSTL, o ambos;
 - 6.11.10 Resumen de la evaluación del nivel;
 - 6.11.11 Resumen de los datos analíticos y el RBSL o SSTL adecuado en uso;
 - 6.11.12 Resumen de la evaluación ecológica;
 - 6.11.13 Mapa del sitio en donde se indique su ubicación;
 - 6.11.14 Mapa del sitio ampliado que incluya el aprovechamiento del suelo en el ámbito local y los pozos de suministro de agua subterránea;
 - 6.11.15 Vista del plano del sitio que muestre la ubicación de las estructuras, los tanques de almacenamiento de superficie, tanques de almacenamiento subterráneo, los servicios públicos y conductos bajo tierra, fuentes cuya existencia se sospecha o está confirmada, etcétera;
 - 6.11.16 Fotografías del sitio, en caso de haberlas;
 - 6.11.17 Mapa de proyección vertical del agua subterránea;
 - 6.11.18 Perfil(es) geológico(s); y
 - 6.11.19 Mapa(s) de la pluma disuelta de la o las sustancias químicas de interés.
- 6.12 *Monitoreo y mantenimiento del sitio* – En muchos casos, se necesita monitorear el sitio para demostrar la efectividad de las medidas de acción de remediación implementadas o bien, confirmar que las condiciones actuales se mantienen o mejoran con el tiempo. Al finalizar este esfuerzo de monitoreo (en caso de ser necesario), no se requieren acciones posteriores. Además, algunas medidas (por ejemplo, barreras físicas tales como colocación de cubiertas, control hidráulico, etcétera) necesitan mantenimiento para asegurar su integridad y rendimiento continuos.
- 6.13 *Etapa en la cual no se requiere una acción posterior y cierre de la acción de remediación* – Cuando se demuestra que se han alcanzado los RBSL o SSTL de la RBCA en el o los puntos de cumplimiento o el o las áreas de la fuente, o ambos casos, según corresponda, y ya no se necesita monitoreo y mantenimiento del sitio para asegurar que tales condiciones continúan, entonces no se requieren más acciones, salvo asegurar que los controles institucionales (en caso de existir) continúan implementados.

APÉNDICES

(Información no obligatoria)

X1 CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO: COMPOSICIÓN, PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS Y RESUMEN DE LA EVALUACIÓN TOXICOLÓGICA

X1.1 *Introducción:*

X1.1.1 Los productos derivados del petróleo que se originan del crudo son mezclas complejas de entre cientos y miles de sustancias químicas. Sin embargo, existen limitaciones prácticas que permiten concentrarse solamente en un subgrupo limitado de componentes claves al evaluar el impacto de fugas de combustible de petróleo en el medio ambiente. Por lo tanto, es importante contar con conocimientos básicos acerca de las características del petróleo, sus composiciones y las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de algunos compuestos identificados con frecuencia como sustancias químicas clave o sustancias químicas de interés.

X1.1.2 Este apéndice proporciona una introducción básica a las características físicas, químicas y toxicológicas de los productos derivados del petróleo (gasolina, combustible para motores diesel, combustible para reactores, etcétera)⁵ y otros productos, haciendo especial hincapié en la información más importante a la hora de evaluar posibles impactos como consecuencia de fugas de estos productos al subsuelo. Gran parte de la información que se presenta corresponde a resúmenes extraídos de las referencias que se indican al final de esta guía. Para ver temas específicos, remitirse a las siguientes secciones del apéndice:

⁵ Los “productos alternativos”, es decir, aquellos productos que no se basan en hidrocarburos derivados del petróleo (o que los contienen en pequeñas cantidades), como el metanol o M85, se encuentran fuera del alcance del tema tratado en este apéndice.

- X1.1.2.1 *Composición de los combustibles de petróleo* – Remitirse al punto X1.2.
 X1.1.2.2 *Propiedades físicas, químicas y toxicológicas de los combustibles de petróleo* – Remitirse al punto X1.3.
 X1.1.2.3 *Sustancias químicas de interés* – Remitirse al punto X1.4.
 X1.1.2.4 *Toxicidad de los hidrocarburos derivados del petróleo* – Remitirse al punto X1.5.
 X1.1.2.5 *Perfiles de los compuestos seleccionados* – Remitirse al punto X1.6.

X1.2 *Composición de los productos derivados del petróleo:*

X1.2.1 La mayoría de los productos derivados del petróleo deriva del crudo por medio de destilación, un proceso que separa compuestos por volatilidad. Los combustibles crudos son mezclas variables de miles de compuestos químicos, principalmente hidrocarburos. En consecuencia, los productos derivados del petróleo también son mezclas variables de grandes cantidades de componentes. Las mayores variaciones en cuanto a la composición se dan entre un tipo de producto y otro (por ejemplo entre la gasolina y el aceite para motores). Sin embargo, existen importantes variaciones incluso entre distintas muestras del mismo tipo de producto. Por ejemplo, las muestras de gasolina tomadas del mismo surtidor de combustible en distintas fechas o aquellas tomadas de distintas estaciones de servicio tendrán composiciones distintas. Estas variaciones son el resultado natural de fuentes diversas, procesos y condiciones de refinado del crudo y distintos tipos y cantidades de aditivos que se utilizan.

X1.2.2 *Componentes de los productos derivados del petróleo* – Los componentes de los productos derivados del petróleo, en general, se pueden clasificar como hidrocarburos (compuestos orgánicos que contienen hidrógeno y carbono solamente) o no hidrocarburos (compuestos que contienen otros elementos, tales como oxígeno, sulfuro o nitrógeno). La mayor parte de la composición de los productos derivados del petróleo está formada por hidrocarburos. Los compuestos no hidrocarburos en los productos derivados del petróleo son, en su mayoría, compuestos similares a los hidrocarburos que contienen pequeñas cantidades de oxígeno, sulfuro o nitrógeno. La mayor parte de los niveles de trazas de metales que se encuentran en el crudo se extrae por medio de procesos de refinado en los productos derivados del petróleo más livianos.

X1.2.3 *Descripciones y propiedades físicas de los productos derivados del petróleo* – a fin de simplificar la descripción de diversos productos derivados del petróleo, comúnmente se utilizan las escalas del punto de ebullición y de número de carbono (cantidad de átomos de carbono por molécula) para describir y comparar las composiciones de diversos productos derivados del petróleo. La Tabla X1.1 resume estas características para una variedad de productos derivados del petróleo. A medida que se baja en la tabla desde la gasolina, los incrementos en la escala del número de carbono y del punto de ebullición, así como, las disminuciones en la volatilidad (que se denotan al aumentar el punto de inflamación) indican la transición hacia “productos más pesados”. A continuación, se proporcionan descripciones de estos productos derivados del petróleo.

TABLA X1.1 Caracterización química y física generalizada de los productos derivados del petróleo

	Escala de número de carbono predominante	Escala de punto de ebullición, en °C	Punto de inflamación ^A , en °C
Gasolina	C4 a C12	25 a 215	-40
Querosén y combustibles para reactores	C11 a C13	150 a 250	<21, ^B 21 a 55, ^C >55 ^D
Combustible para motores diesel y fueloils livianos	C10 a C20	160 a 400	>35
Fueloils pesados	C19 a C25	315 a 540	>50
Aceites para motores y otros aceites lubricantes	C20 a C45	425 a 540	>175

X1.2.4 *Gasolina* – La gasolina está compuesta por hidrocarburos y “aditivos” que se mezclan con el combustible para mejorar su rendimiento y la larga duración del motor. Los hidrocarburos se encuentran principalmente en la escala de C4 a C12. Los más livianos son altamente volátiles y se evaporan con rapidez de la gasolina derramada. Los hidrocarburos alifáticos de C4 y C5 se evaporan rápidamente de la gasolina derramada (entre horas y meses, lo que depende principalmente de la temperatura y el grado de contacto con

^A Valores típicos.

^B Jet-B, AVTAG y JP-4.

^C Querosén, Jet A, Jet A-1, JP-B y AVTUR.

^D AVCAT y JP-5

el aire). Partes sustanciales de los hidrocarburos de C6 y de aquellos más pesados también se evaporan, pero más lentamente que los hidrocarburos más livianos.

X1.2.4.1 La Figura 1 muestra cromatogramas de gasolina fresca y de la misma gasolina luego de someterla a la intemperie en forma simulada. Se colocó aire en forma de barboteo a través de la gasolina hasta que el 60% de su volumen inicial se evaporó. En la cromatografía de gases, la mezcla se separa en sus diversos componentes. Cada pico representa distintos compuestos. Los componentes con mayor peso molecular aparecen hacia la derecha, a lo largo del eje *x*. A modo de referencia, en la Figura X1.1, se indican las posiciones de los hidrocarburos *n*-alifáticos. La altura de cada pico y el área que se encuentra debajo de cada uno de ellos son medidas que indican qué cantidad de ese componente está presente en la mezcla. Tal como se esperaría debido a sus volatilidades más altas, los hidrocarburos más livianos (hasta alrededor de C7) se evaporan primero y se reducen en gran medida en la gasolina sometida a la acción de los elementos. La cromatografía de gases de un fueloil también se muestra para efectuar su comparación.

X1.2.4.2 Los hidrocarburos aromáticos que se encuentran en la gasolina son principalmente benceno (C₆H₆), tolueno (C₇H₈), etilbenceno (C₈H₁₀) y xilenos (C₈H₁₀). En su conjunto se los denomina “BTEX”. También hay algunos hidrocarburos aromáticos más pesados, incluidas bajas cantidades de hidrocarburos poliaromáticos (PAH). Los hidrocarburos aromáticos suelen constituir entre el 10 y el 40% de la gasolina.

X1.2.4.3 Algunas veces se agregan a la gasolina compuestos oxigenados (“oxigenados”), tales como alcoholes (por ejemplo metanol o etanol) y éteres (por ejemplo éter metilterciobutílico – MTBE) como mejoradores de octanos y para reducir las emisiones de monóxido de carbono del caño de escape. El éter metilterciobutílico ha sido un aditivo comúnmente utilizado a partir de 1980 aproximadamente.

X1.2.4.4 La gasolina con plomo, mucho más común en el pasado, contenía compuestos de plomo que se agregaban a modo de mejoradores de octanos. El tetraetil plomo (TEL) es un compuesto de plomo que se utilizaba comúnmente como aditivo para la gasolina. También se utilizaban otros compuestos similares. Algunas veces se agregaban mezclas de varios de estos compuestos. Debido a las preocupaciones respecto de las emisiones de plomo de los caños de escape a la atmósfera, el EPA de EUA redujo la utilización de gasolinas con plomo. Se las retiró de la mayoría de los mercados alrededor de 1989.

X1.2.4.5 Para reducir las emisiones de plomo a la atmósfera, a veces se agregaban “depuradores” de plomo a las gasolinas con contenido de plomo. Con frecuencia se utilizaban dibromuro de etileno (EDB) y dicloruro de etileno (EDC) con esa finalidad.

X1.2.5 *Querosén y combustible para reactores* – Los hidrocarburos que se encuentran en el querosén frecuentemente se sitúan dentro de la escala de C11 a C13 y destilan a aproximadamente 150 a 250°C. También se comercializan querosenes con una escala más amplia de ebullición [*wide-cut*] y querosenes con bajo punto de inflamación. Tanto los hidrocarburos alifáticos como aquellos aromáticos se encuentran presentes, entre los que se incluyen más compuestos de anillos múltiples y querosén.

X1.2.5.1 Los combustibles para reactores comerciales JP-8 y Jet A tienen composiciones similares a las del querosén. Los combustibles para reactores JP-4 y JP-5 tienen márgenes de ebullición más amplios y son utilizados por el ejército. Tales combustibles contienen destilados más livianos y algunas de las características de la gasolina y el querosén.

X1.2.5.2 El querosén y los combustibles para reactores contienen entre un 10 y un 20% de hidrocarburos aromáticos.

[Insertar gráfico: Gas Chromatograms of Some Petroleum Fuels ; FIG. X.1. Cromatogramas de gases de algunos combustibles derivados del petróleo]

Figura X1.1 Cromatogramas de gases de algunos combustibles derivados del petróleo

Inglés	Español
Fresh gasoline	Gasolina fresca
Fueloil	Fueloil
Weathered gasoline	Gasolina sometida a la intemperie

X1.2.6 *Combustible para motores diesel y fueloils livianos* – Los fueloils livianos incluyen fueloils N° 1 y N° 2 y su punto de ebullición oscila entre 160 y 400°C. Los hidrocarburos que se encuentran en los fueloils livianos y en el combustible para motores diesel generalmente tienen una escala de C10 a C20. Debido a sus pesos moleculares más altos, los componentes de estos productos son menos volátiles, menos solubles en agua y menos móviles que los hidrocarburos dentro de la gama de la gasolina o el querosén.

X1.2.6.1 Entre el 25 y el 35% del fueloil N° 2 se compone de hidrocarburos aromáticos, bencenos principalmente alquilados y naftalenos. Las concentraciones de BTEX generalmente son bajas.

X1.2.6.2 El fueloil N° 1 es típicamente un destilado obtenido por destilación directa.

X1.2.6.3 El fueloil N° 2 puede ser un destilado obtenido por destilación directa o, en caso contrario, es producido por termofraccionamiento catalítico (un proceso en el cual las moléculas más grandes se fraccionan en moléculas más pequeñas). El destilado obtenido por destilación directa N° 2 se utiliza, comúnmente, como combustible para calefacción residencial, mientras que el producto termofraccionado se utiliza, con frecuencia, en hornos y calderas industriales. Tanto los fueloils N° 1 como los N° 2 se utilizan a veces como componentes de mezcla en formulaciones de combustibles para reactores o combustibles para motores diesel.

X1.2.7 *Fueloils pesados* – Los pesados incluyen los fueloils N° 4, 5 y 6. Algunas veces se los denomina “gasoil” o “fueloil residual”. Éstos se componen de hidrocarburos que oscilan entre C19 y C25 y tienen una escala de ebullición que va desde 315 hasta 540°C. Son de color oscuro y bastante más viscosos que el agua. Contienen, por lo general, entre un 15 y un 40% de hidrocarburos aromáticos, principalmente fenantrenos alquilados y naftalenos. Entre el 15 y el 30% de estos aceites puede estar constituido por compuestos polares que contienen nitrógeno, sulfuro u oxígeno.

X1.2.7.1 El fueloil N° 6, también denominado “combustible búnker” o “*Bunker C*”, es un producto negro gomoso que se utiliza en aplicaciones industriales en donde se dispone de altas temperaturas para fluidificar el fueloil. Su densidad es superior a la del agua.

X1.2.7.2 Los fueloils N° 4 y 5 se producen al mezclar fueloil N° 6 con destilados más livianos.

X1.2.8 *Aceites para motores y otros aceites lubricantes* – Los aceites lubricantes y los aceites para motores están constituidos, en principio, por compuestos dentro de la escala de C20 a C45 y entran en ebullición aproximadamente entre 425 y 540°C. Están enriquecidos en las fracciones moleculares más complejas que se encuentran en el crudo, tales como cicloparafinas e hidrocarburos polinucleares aromáticos [*Polynuclear Aromatics* – PNA] que contienen un número de tres anillos o más. Estos aceites pueden estar constituidos entre el 10 y el 30% de su contenido por hidrocarburos aromáticos. También son comunes las moléculas que contienen nitrógeno, sulfuro u oxígeno. Además, los aceites usados de cárter para automotores se pueden enriquecer con PNA y ciertos metales.

X1.2.8.1 Estos aceites son relativamente viscosos e insolubles en agua subterránea y relativamente inmóviles en el subsuelo.

X1.2.8.2 Las composiciones del aceite de desecho son aun más difíciles de predecir. Según cómo se los maneje, los aceites de desecho pueden contener alguna porción de los productos más livianos, además de aceites pesados. El aceite de cárter usado puede contener metales desgastados de motores. En algunos aceites de desecho pueden existir solventes desengrasantes (gasolina, nafta o solventes clorados livianos, o bien, una combinación de ellos).

X1.3 *Características físicas, químicas y toxicológicas de los productos derivados del petróleo:*

X1.3.1 *Tendencias respecto de las propiedades físicas y químicas de los hidrocarburos* – Para comprender mejor el comportamiento subterráneo de los hidrocarburos, es de gran ayuda poder reconocer tendencias en las propiedades físicas importantes con una cantidad mayor de átomos de carbono. Estas tendencias son seguidas más de cerca por compuestos con estructuras moleculares similares, tales como los hidrocarburos alifáticos de cadena recta y enlace simple. En general, a medida que el número de carbono (o el tamaño de las moléculas) aumenta, se observan las siguientes tendencias:

X1.3.1.1 Puntos de ebullición (y puntos de fusión) más altos,

X1.3.1.2 Presión de vapor más baja (volatilidad),

X1.3.1.3 Mayor densidad,

X1.3.1.4 Menor solubilidad en agua, y

X1.3.1.5 Adhesión más fuerte a los suelos y menor movilidad en el subsuelo

TABLA X1.2 Propiedades químicas y toxicológicas de hidrocarburos seleccionados

Compuestos	Clase del peso de la prueba ^A	RfD oral, mg/kg-día	RfC de inhalación, mg/m ³	Factor de pendiente oral, ^A mg/kg-día ⁻¹	MCL del agua potable ^A , mg/L	Solubilidad, ^B mg/L	Coefficiente de partición octanol/agua, ^B log K _{ow}	Coefficiente de adsorción del carbón orgánico, ^B log K _{oc}
Benceno	A	c	c, D	0,029 ^D	0,005	1750	2,13	1,58
Tolueno	D	0,2 ^A	0,4 ^A	...	1	535	2,65	2,13
Etilbenceno	D	0,1 ^A	1 ^A	...	0,7	152	3,13	1,98
Xilenos	D	2 ^A	0,3 ^{C,E}	...	10,0	198	3,26	2,38
n-Hexano	c	0,06 ^E , 0,6 ^F	0,2 ^F	...	...	13 ^G	...	...
MTBE	...	c	3 ^A	...	...	48.000 ^H	1,06- 1,30 ^I	1,08 ^J
MEK	D	0,6 ^A	1 ^A	...	k	268.000	0,26	0,65
MIBK	...	0,05 ^E , 0,5 ^F	0,08 ^{C,E} , 0,8 ^F	...	...	...	...	...
Metanol	...	0,5 ^A	c	...	...	...	...	...
Etanol	...	...	...	...	...	1.000.000	-0,032	0,34
TBA	...	...	...	...	...	...	...	...
Plomo	B2	...	...	...	0,015 ^L	...	...	...
EDC	B2	...	...	0,091	0,006	8.520	1,48	1,15
EDB	B2	...	c	85	0,00006	4.300	1,76	1,64
PNA								
Pireno	D	0,03 ^A	...	...	...	0,132	4,68	4,58
Benzo(a)pireno	B2	...	...	7,3	0,0002 ^M	0,00120	5,98	5,59
Antraceno	D	0,3 ^A	...	...	...	0,0450	4,45	4,15
Fenantreno	D	...	...	...	...	1,00	4,46	4,15
Naftaleno	D ^c	0,004 ^E , 0,04 ^F	...	...	...	31,0 ^G	3,28 ^G	3,11 ^N
Criseno	B2	...	...	1,15 ^O	0,0002	0,00180	5,61	5,30
Benzo(k)fluoranteno	B2	...	...	...	0,0002 ^M	0,430	6,06	5,74
Fluoreno	D	0,04 ^A	...	...	...	1,69	4,20	3,86

^A Remítase a Ref. (2).

^B Remítase a Ref. (4).

^C Los datos están pendientes en la base de datos EPA-IRIS.

^D La unidad de riesgo de inhalación para el benceno es $8,3 \times 10^{-3} \text{ (mg/m}^3\text{)}^{-1}$. La unidad para el agua potable es $8,3 \times 10^{-4} \text{ (mg/L)}$.

^E Efecto crónico. Remítase a Ref. (5).

^F Efecto subcrónico. Remítase a Ref. (5).

^G Remítase a Ref. (7).

^H Remítase a Ref. (8).

^I Remítase a Ref. (9).

^J Ecuación de estimación (desde (10)):

(1) $\log K_{oc} = -0,55 \log S + 3,64$, donde S = solubilidad en agua (mg/L)

(2) $\log K_{oc} = 0,544 \log P + 1,377$

^K Incluido en la Lista de Prioridades de Agua Potable de enero de 1991 [*January 1991 Drinking Water Priority List*], y puede estar sujeto a futuras reglamentaciones (56 FR 1470, 14/01/91).

^L EPA de EUA, mayo de 1993, Departamento de Agua Potable, 15 µg/L es un nivel de acción habitual para el agua de la canilla.

^M Norma propuesta.

^N Remítase a Ref. (11).

^O Remítase a Ref. (6). Los criterios basados en la salud para los compuestos policíclicos aromáticos (PAH) carcinogénicos, a excepción del dibenzo(a,h)antraceno, se establecen a una décima parte del nivel del benzo(a)pireno, debido a su conocida potencia inferior

TABLA X1.2 Propiedades químicas y toxicológicas de hidrocarburos seleccionados (continuación)

Fluoranteno	D	0,04 ^A	...	...	...	0,206	4,90	4,58
Fluoranteno	D	0,04 ^A	...	...	...	0,206	4,90	4,58
Benzo(g,h,l)perileno	D	...	...	...	...	0,000700	6,51	6,20
Benzo(b)fluoranteno	B2	...	...	...	0,0002 ^M	0,0140	6,06	5,74
Benz(a)antraceno	B2	...	...	...	0,0002 ^M	0,00670	5,60	6,14

X1.3.2 La tabla X1.2 enumera las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de diversos hidrocarburos que se encuentran en los productos derivados del petróleo. En términos generales:

X1.3.2.1 Los hidrocarburos alifáticos derivados del petróleo con más de diez átomos de carbono suelen ser inmóviles en el subsuelo, excepto cuando se disuelven en líquidos en fase no acuosa [*Nonaqueous Phase Liquids*] (NAPL), debido a sus bajas solubilidades en agua, sus bajas presiones de vapor y su fuerte tendencia a adsorberse a las superficies del suelo.

X1.3.2.2 Los hidrocarburos aromáticos son más solubles en agua y más móviles en agua que los hidrocarburos alifáticos con peso molecular similar.

X1.3.2.3 Los compuestos oxigenados, por lo general, tienen solubilidades en agua mucho mayores que los hidrocarburos de peso molecular similar y, por lo tanto, es posible que sean los componentes más móviles del combustible derivado del petróleo en lixiviados y agua subterránea. Los alcoholes livianos, incluidos el metanol y el etanol, son miscibles por completo en agua en todas las proporciones.

X1.3.3 *Propiedades de las mezclas* – Es importante observar que el comportamiento de partición de los compuestos individuales se ve afectado por la presencia de otros hidrocarburos en el subsuelo. Las máximas concentraciones en fase disuelta y de vapor que se obtienen en el subsuelo son siempre menores a aquellas de cualquier compuesto puro, cuando está presente como uno de muchos compuestos de un combustible derivado del petróleo. Por ejemplo, las concentraciones de benceno disuelto en el agua subterránea en contacto con suelos con impacto de gasolina, raramente, exceden 1 a 3% de los ~1800 mg/L de solubilidad del compuesto puro del benceno.

X1.3.4 *Tendencias de las propiedades toxicológicas de los hidrocarburos* – En el punto X1.5 se proporciona una explicación más detallada acerca de la evaluación toxicológica (consultar también el Apéndice X3), seguida de los perfiles para las sustancias químicas seleccionadas que se encuentran en los productos derivados del petróleo, en el punto X1.6. De la gran cantidad de compuestos que están presentes en los productos derivados del petróleo, los hidrocarburos aromáticos (BTEX, PAH, etcétera) son los componentes a los que los seres humanos y los organismos acuáticos tienden a ser más sensibles (en relación con los impactos nocivos que producen sobre la salud).

X1.4 *Sustancias químicas de interés para las evaluaciones de riesgos:*

X1.4.1 No es factible evaluar todos los compuestos presentes en un producto derivado del petróleo a fin de evaluar los riesgos que una fuga de dicho producto podría acarrear para la salud de los seres humanos o el medio ambiente. Por este motivo, las decisiones en cuanto al manejo de riesgos se basan, generalmente, en la evaluación de los posibles impactos de un grupo selecto de compuestos “indicadores”. En este enfoque, se supone, en forma inherente, que una fracción importante del impacto total posible de todas las sustancias químicas se debe a las sustancias químicas de interés. La selección de las sustancias químicas de interés se basa en el estudio de las rutas de exposición, concentraciones, movilidades, propiedades toxicológicas y características estéticas (sabor, olor, etcétera). Históricamente, las toxicidades y las movilidades de fase disuelta relativamente bajas de los hidrocarburos alifáticos han hecho que estas sustancias químicas de interés sean menos preocupantes que los hidrocarburos aromáticos. Cuando existan aditivos en grandes cantidades, también debería tenerse en cuenta incluirlos como sustancias químicas de interés.

X1.4.2 La Tabla X1.3 identifica las sustancias químicas de interés analizadas con mayor frecuencia al evaluar los impactos de los productos derivados del petróleo, basándose en el conocimiento de su concentración en el combustible específico, así como también su toxicidad, solubilidad en agua, movilidad subterránea, características estéticas y en la disponibilidad de información suficiente para realizar evaluaciones de riesgos. Las sustancias químicas de interés están identificadas con una “X” en la columna correspondiente.

TABLA X1.3 Sustancias químicas de interés comúnmente seleccionadas para los productos derivados del petróleo

	Gasolina sin plomo	Gasolina con plomo	Querosén / combustibles para reactores	Aceite para motores diesel/ fueloils livianos	Fueloils pesados
Benceno	X	X	X	---	---
Tolueno	X	X	X	---	---
Etilbenceno	X	X	X	---	---
Xileno	X	X	X	---	---
MTBE, TBA, MEK, MIBK, metanol, etanol	Cuando se sospecha ^A	Cuando se sospecha ^A	---	---	---
Plomo, EDC, EDB	---	X	---	---	---
PNA ^B	---	---	X	X	X

X1.5 Toxicidad de los hidrocarburos derivados del petróleo:

X1.5.1 La siguiente explicación proporciona un breve panorama general acerca del origen de los parámetros de toxicidad (dosis de referencia [*reference doses*] (RfD)) y los factores de inclinación [*slope factors*] (SF), una justificación de las elecciones comunes de sustancias químicas de interés y, en el punto X1.6, se proporciona un breve resumen de los parámetros toxicológicos, físicos y químicos asociados con estas sustancias químicas de interés.

X1.5.2 *Cómo se evalúa la toxicidad: sustancias químicas en forma individual y mezclas* – La toxicidad de una sustancia química en particular se establece, habitualmente, sobre la base de estudios de respuesta a la dosis que estiman la relación entre los distintos niveles de dosis y la magnitud de los efectos nocivos (es decir, la toxicidad). Los datos de respuesta a la dosis se utilizan para identificar una “dosis segura” o un nivel tóxico para un efecto nocivo en particular. En el caso de una mezcla compleja de sustancias químicas, se puede utilizar el mismo método. Por ejemplo, para analizar la toxicidad de la gasolina, se evaluaría una gasolina de referencia “pura” en vez de la sustancia química en particular. Este método de evaluación de toxicidad del “producto entero” se aplica estrictamente sólo en el caso de mezclas idénticas a la mezcla evaluada. Las gasolinas cuyas composiciones son diferentes a las de la gasolina de referencia podrían tener toxicidades similares a aquellas de la gasolina de referencia, pero se podrían prever algunas diferencias. Asimismo, dado que la composición de la gasolina que se libera en forma accidental al medio ambiente cambia a través de procesos naturales (volatilización, lixiviación, biodegradación), la toxicidad de la porción restante también podría cambiar.

X1.5.3 Una alternativa al método de “producto entero” para evaluar la toxicidad de mezclas la constituye el método de “componente individual”. En este método, se evalúa la toxicidad de cada componente en forma individual (o de un subgrupo seleccionado de los componentes más tóxicos, denominados sustancias químicas de interés) y se supone que la toxicidad de la mezcla es la suma de las toxicidades individuales, para lo cual se utiliza un método de índice de peligro. El EPA de EUA suele utilizar este método. Sin embargo, no es adecuado sumar los índices de peligro, a menos que las resultantes toxicológicas y los mecanismos de acción sean los mismos para los componentes individuales. Asimismo, los compuestos que se evaluarán deben seleccionarse con cuidado según sus concentraciones en la mezcla, sus toxicidades, cuán bien se conocen sus toxicidades y cuán móviles son en el subsuelo. La falta de información toxicológica suficiente, a menudo, es un impedimento para este procedimiento.

X1.5.4 *Utilización de mediciones del total de hidrocarburos derivados del petróleo (TPH) en las evaluaciones de riesgos* – Con frecuencia, se utilizan diversos métodos de análisis químico comúnmente denominados TPH [*Total Petroleum Hydrocarbons*] para realizar las evaluaciones de un sitio. Estos métodos, habitualmente, determinan la cantidad total de hidrocarburos presentes en forma de una sola cifra y no proporcionan información acerca de los tipos de hidrocarburos que están presentes. Estos métodos de TPH pueden ser útiles para ejecutar aquellas evaluaciones de riesgos para las cuales el método de toxicidad del producto entero no es adecuado. Sin embargo, en general, *el método de TPH no debe utilizarse para evaluaciones de riesgos de “componente individual” debido a que la medición general del TPH no proporciona información suficiente acerca de las cantidades de compuestos individuales presentes.*

X1.5.5 *Proceso de evaluación de la toxicidad* – Los datos sobre la respuesta a la dosis se utilizan para identificar una “dosis segura” o un nivel tóxico para un efecto nocivo en particular que se haya observado. En tanto, los efectos nocivos observados pueden abarcar efectos en el organismo en general (por ejemplo pérdida de peso, problemas neurológicos), efectos en órganos específicos del cuerpo, incluido el sistema nervioso

^A Por ejemplo, cuando estos compuestos han estado presentes en la gasolina derramada. Estos aditivos no están presentes en todas las gasolinas.

^B En la Tabla X1.2, se presenta un listado de los PNA seleccionados para su estudio.

central, efectos teratogénicos (definidos por la capacidad de producir defectos de nacimiento), efectos mutagénicos (resultado de la capacidad de alterar los genes de una célula) y efectos carcinogénicos (que dependen de la capacidad de producir tumores malignos en tejidos vivos). Debido a la gran preocupación respecto de los agentes de riesgo que pueden provocar efectos carcinogénicos progresivos, el EPA de EUA ha desarrollado criterios del “peso de la prueba” para determinar si un agente de riesgo debe ser considerado carcinogénico (remitirse a la Tabla X1.4).

X1.5.6 La mayoría de las estimaciones de una “dosis segura” o un nivel tóxico se basa en estudios realizados en animales. En raras ocasiones se dispone de información epidemiológica en seres humanos para una sustancia química. Los estudios de toxicidad generalmente pueden dividirse en tres categorías según la cantidad de exposiciones al agente de riesgo y la cantidad de tiempo durante la cual el grupo de estudio se expuso al agente de riesgo. Estos estudios se pueden describir de la siguiente manera:

X1.5.6.1 *Estudios agudos* – Los estudios agudos típicamente utilizan una o múltiples dosis en un período de tiempo corto (24 horas). Los síntomas suelen observarse dentro de un período de tiempo corto y pueden variar desde la pérdida de peso hasta la muerte.

X1.5.6.2 *Estudios crónicos* – Los estudios crónicos utilizan múltiples exposiciones en un período de tiempo prolongado o durante una parte importante de la vida de un animal (generalmente dos años) o de un ser humano. Los efectos crónicos de mayor preocupación son los efectos carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos. También existen otros efectos crónicos de importancia sobre la salud, tales como daños al hígado y los riñones.

X1.5.6.3 *Estudios subcrónicos* – Los estudios subcrónicos utilizan varias exposiciones o exposiciones continuas durante un período de tiempo prolongado (en estudios con animales, el período habitual es de tres meses). Los efectos que se observan abarcan aquellos de los estudios agudos y los estudios crónicos.

X1.5.6.4 Lo ideal es que las dosis seguras o aceptables se calculen a partir de estudios crónicos, pero, sin embargo, debido a la frecuente escasez de datos crónicos, se utilizan estudios subcrónicos.

X1.5.6.5 En el caso de los no carcinógenos, las dosis seguras se basan en los niveles de efectos nocivos no observados [*no observed adverse effect levels*] (NOAEL) o los niveles más bajos de efectos nocivos observados [*lowest observed adverse effect levels*] (LOAEL) de los estudios.

X1.5.6.6 Las dosis aceptables para los carcinógenos se determinan por medio de modelos matemáticos utilizados para generar curvas de respuesta a la dosis en la región de dosis baja, a partir de curvas de respuesta a la dosis en la región de dosis alta que se han determinado en forma experimental.

TABLA X1.4 Criterio del “peso de la prueba” para los carcinógenos

Categoría	Criterio
A	Carcinógeno para el ser humano, con suficientes pruebas obtenidas de estudios epidemiológicos.
B1	Probable carcinógeno para el ser humano, con pruebas limitadas obtenidas de estudios epidemiológicos.
B2	Probable carcinógeno para el ser humano, con suficientes pruebas obtenidas de estudios en animales y pruebas no adecuadas o falta de datos provenientes de estudios epidemiológicos.
C	Posible carcinógeno para el ser humano, con pruebas limitadas provenientes de estudios en animales ante la ausencia de datos en humanos.
D	No clasificable en cuanto a su carcinogenicidad para el ser humano debido a pruebas inadecuadas tanto en animales como en seres humanos.
E	Pruebas de no carcinogenicidad para el ser humano, sin pruebas de carcinogenicidad en, por lo menos, dos pruebas adecuadas realizadas en animales en distintas especies, o en estudios en animales y estudios epidemiológicos adecuados.

X1.5.7 Los datos de los estudios anteriores se utilizan para generar dosis de referencia (RfD), concentraciones de referencia [*reference concentrations*] (RfC) y factores de inclinación (SF) y también para generar niveles máximos de concentración (MCL) en el agua potable y los niveles máximos objetivo de concentración [*maximum concentration level goals*] (MCLG) en el agua potable, documentos del EPA de aviso sobre riesgos [*Health Advisories*](HA) y criterios de calidad del agua. Estos términos se definen en la Tabla X1.5 y se tratan en mayor profundidad en el punto X3.8.

X1.5.8 *Selección de sustancias químicas de interés* – En casos de contaminación de los suelos y el agua subterránea por gasolina o un destilado medio, el impacto sobre la salud de los seres humanos y el medio ambiente se puede evaluar basándose en la exposición potencial del receptor (es decir, organismos acuáticos, seres humanos) a tres grupos de materiales: hidrocarburos aromáticos livianos, PAH, y, en derrames más antiguos, plomo. Si bien no constituyen ninguno de los agentes contaminantes descritos previamente, los EDB y EDC se utilizaron como depuradores de plomo en algunas gasolinas con plomo y pueden considerarse sustancias químicas de interés, en los casos en que estén presentes.

X1.5.9 Los hidrocarburos aromáticos livianos, el benceno, tolueno, los xilenos y el etilbenceno poseen una solubilidad en agua relativamente alta y escasa sorción al suelo. Por lo tanto, poseen una alta movilidad en el medio ambiente y se mueven con facilidad en el subsuelo. Cuando hay una liberación accidental de ellos en cuerpos de agua, estos materiales exhiben una toxicidad aguda entre moderada y alta para los organismos acuáticos. Si bien los medios ambientales rara vez se contaminan al punto de que la toxicidad aguda en seres humanos se convierta en una preocupación, el EPA de EUA considera al benceno un Carcinógeno del Grupo A (carcinógeno humano conocido) y, por lo tanto, la exposición de este material, a incluso cantidades pequeñas, se considera significativa.

X1.5.10 Los hidrocarburos policíclicos aromáticos pueden dividirse en dos categorías: naftalenos y metilnaftalenos (diaromáticos); poseen una solubilidad en agua y un potencial de sorción al suelo moderados y, por lo tanto, su movimiento a través del subsuelo suele ser menor al de los monoaromáticos, pero aún así puede producirse un movimiento importante. Cuando se produce una liberación accidental de estos materiales a cuerpos de agua de superficie, estos tienen una toxicidad entre moderada y alta respecto de los organismos acuáticos. Los PAH con tres o más anillos condensados tienen una solubilidad muy baja (generalmente menos de 1 mg/L) y una fuerte capacidad de sorción a los suelos. Por consiguiente, su movimiento en el subsuelo es mínimo. Muchos de los miembros del grupo de los PAH con tres y hasta seis anillos son carcinógenos conocidos o se sospecha que lo son y, por lo tanto, la exposición a pequeñas concentraciones de ellos en agua potable o a través de la ingesta de suelo contaminado por parte de los niños es muy importante. Asimismo, los materiales que contienen PAH con cuatro y hasta seis anillos son poco biodegradables y, sumado al potencial de bioacumulación en los tejidos de los organismos acuáticos, estos materiales pueden bioconcentrarse en el medio ambiente (es decir, pueden encontrarse en tejidos vivos en niveles mucho más altos que en las inmediaciones en general).

X1.5.11 Si bien su utilización en gasolinas en los Estados Unidos se ha eliminado casi por completo, al plomo se lo asocia con derrames más antiguos. Generalmente, se agregaba plomo a la gasolina en forma de tetraetil o tetrametil plomo y aún puede encontrarse en su forma original en áreas que contienen producto libre. Por lo general, fuera de las áreas de producto libre, estos materiales se han descompuesto en formas inorgánicas de plomo. El plomo es una neurotoxina y, en la sangre de los niños, se lo ha asociado con un desarrollo intelectual reducido. La ingesta de suelos contaminados con plomo, por parte de los niños, es una ruta de exposición de gran preocupación, al igual que el consumo de agua potable contaminada con plomo. El dibromuro de etileno y el dicloruro de etileno, utilizados como depuradores de plomo en gasolinas, constituyen sustancias de interés debido a su alta toxicidad (potenciales carcinógenos) y su alta movilidad en el medio ambiente.

X1.5.12 En resumen, el benceno y el benzo(a)pireno (y en algunos casos EDB y EDC) son sustancias químicas de interés debido a su carcinogenicidad. También se pueden agrupar otros PAH con los B(a)P debido a las dudas respecto de su carcinogenicidad y porque que pueden acumularse (bioconcentrarse) en los tejidos vivos.

X1.5.13 *Toxicidad y propiedades físicas y químicas de las sustancias químicas de interés* – En la Tabla X1.2, se proporciona un resumen de los efectos sobre la salud y las propiedades físicas y químicas de ciertas sustancias químicas de interés. Esta tabla exhibe datos toxicológicos obtenidos de diversas fuentes, sin importar la calidad de los datos. A continuación, se plantea una explicación más profunda acerca de las sustancias químicas de interés seleccionadas. Se advierte al lector que esta información sólo es válida a las fechas que se indican y que las fuentes de las que se tomó dicha información pueden haber sido actualizadas, o bien puede haber información más reciente disponible en la bibliografía examinada por otros colegas.

X1.5.13.1 Los valores de RfD o SF generalmente se obtienen de un grupo convencional de tablas de referencia (por ejemplo: el Sistema Integrado de Información sobre Riesgos, [*Integrated Risk Information System*] -IRIS (2), o las Tablas de Resumen de Evaluación sobre Efectos en la Salud, [*Health Effects Assessment Summary Tables*] HEAST (3)). A menos que se indique lo contrario, las evaluaciones de toxicidad que siguen se tomaron del IRIS (2), ya que éstas son evaluaciones aprobadas por el EPA. Sin embargo, la información de IRIS (2) por lo general sólo ha sido revisada dentro del marco del EPA y no siempre tiene el respaldo de la comunidad científica externa. La información de IRIS también puede estar sujeta a errores (tal como lo ejemplifican las recientes revisiones del factor de pendiente para B(a)P y RfC para MTBE).

X1.5.13.2 Las HEAST (3) constituyen una base de datos más extensa que el IRIS (2) y con frecuencia se las utiliza como fuente de información sobre los efectos en la salud. La información del IRIS (2) ha sido sometida a una revisión de calidad de los datos, pero no la información de las tablas HEAST (3). El usuario debería consultar los documentos de evaluación originales para apreciar los puntos fuertes y las limitaciones de los datos de las HEAST (3). Por lo tanto, se debe tener cuidado al utilizar los valores indicados en ellas (3).

X1.5.13.3 La Tabla X1.2 proporciona referencias para las propiedades físicas y químicas. Todas las constantes de la ley de Henry que se citan en el texto se tomaron de la Ref. (11), a excepción de MTBE, que se tomó de la estimación: $H = (V_p)(MW)/760(S)$, en donde MW es el peso molecular, $V_p = 414$ mmHg a 100°F, y $S = 48.000$ mg/L.

TABLA X1.5 Definiciones de características toxicológicas de importancia

Dosis de referencia – Una dosis de referencia es una estimación (con una incertidumbre que típicamente abarca una orden de magnitud) de una exposición diaria (mg/kg/día) a la población humana en general (incluidos subgrupos sensibles), que posiblemente no tenga un riesgo apreciable de efectos nocivos durante una exposición que abarca toda la vida.

Concentración de referencia – Una concentración de referencia es una estimación (con una incertidumbre que abarca posiblemente un orden de magnitud) de una exposición continua a la población humana (incluidos subgrupos sensibles) que posiblemente no tenga un riesgo apreciable de efectos nocivos a lo largo de la vida.

Factor de pendiente – La inclinación de la curva de respuesta a la dosis en el área de dosis baja. Cuando no se pueda suponer la linealidad de dosis baja, el factor de pendiente n será la inclinación de la línea recta desde la dosis cero hasta la dosis al 1% de riesgo en exceso. Con frecuencia, se utiliza un límite superior en esta pendiente, en lugar de la pendiente misma. Las unidades del factor de pendiente generalmente se expresan como (mg/kg/día)¹.

MCL y MCLG del agua potable – Los niveles máximos de los agentes contaminantes (MCL) son normas respecto del agua potable dispuestas por el EPA, que protegen la salud de los seres humanos. Sin embargo, estas normas toman en cuenta la capacidad tecnológica para alcanzarlas. Por ende, el EPA ha establecido objetivos de MCL [*Maximum Contaminant level goals - MCLG*] que sólo se basan en la protección de la salud de los seres humanos. Las normas MCL, con frecuencia, se utilizan como criterios de limpieza.

Documentos del EPA de aviso sobre riesgos a la salud y del agua potable – El Departamento de Agua Potable [*Office of Drinking Water*] proporciona estos documentos de aviso sobre riesgos para la salud [*Health Advisories - HA*] como una orientación técnica para la protección de la salud de los seres humanos; son normas federales no obligatorias. Los HA constituyen la concentración de una sustancia en agua potable que se estima tendrá efectos nocivos insignificantes en los seres humanos cuando se la ingiere durante períodos de tiempo especificados.

Criterios de calidad del agua – Estos criterios no son normas y no tienen un efecto de reglamentación. Más bien, presentan datos científicos y orientación acerca de los efectos ambientales de los agentes contaminantes y pueden ser útiles para obtener requisitos de reglamentación basados en consideraciones acerca de los impactos sobre la calidad del agua.

X1.6 Perfiles de los compuestos seleccionados:

X1.6.1 Benceno:

X1.6.1.1 *Resumen de toxicidad* – Según estudios epidemiológicos realizados en seres humanos, se ha descubierto que el benceno es un carcinógeno humano (clasificado por el EPA de EUA como carcinógeno del Grupo A, un carcinógeno humano conocido). Se ha obtenido un factor de pendiente oral de $2,9 \times 10^{-2}$ (mg/kg/día)⁻¹ para el benceno, basándose en la aparición de leucemia por exposición ocupacional mediante inhalación. El EPA de EUA ha establecido un nivel máximo de agentes contaminantes en el agua potable (MCL) de 5 µg/L. El nivel máximo objetivo para agentes contaminantes (MCLG) para el benceno es cero.

X1.6.1.2 Si bien el EPA de EUA no suele emitir documentos de aviso sobre riesgos [HA] respecto del agua potable a largo plazo para materiales carcinógenos (la no exposición a los carcinógenos es considerada aceptable), ha establecido para niños un HA respecto del agua potable por un período de diez días, fijando el criterio en 0,235 mg/L, según daños hematológicos en animales. El EPA está evaluando los efectos no cancerígenos y está pendiente una RfD oral para el benceno.

X1.6.1.3 En situaciones en las que se consume tanto agua como organismos acuáticos de un cuerpo de agua en particular, el EPA establece un criterio recomendado de calidad del agua en 0,66 µg/L. Cuando sólo se consumen organismos acuáticos, el criterio es de 40 µg/L. Estos criterios se establecieron en el nivel de riesgo de uno en un millón (es decir, los criterios representan un aumento progresivo estimado del riesgo de cáncer a lo largo de la vida de uno en un millón).

X1.6.1.4 *Resumen de los parámetros físicos y químicos* – El benceno está sujeto a una rápida volatilización (constante de la ley de Henry = $5,5 \times 10^3$ m³ - atm/mol) en condiciones ambientales normales de superficie. El benceno es móvil en los suelos debido a su alta solubilidad en agua ($2,75 \times 10^6$ µg/L) y su relativamente baja sorción a las partículas del suelo ($\log K_{oc} = 1,92$) y, por lo tanto, tiene el potencial de lixiviar al agua subterránea. El benceno tiene un valor de $\log K_{ow}$ relativamente bajo (2,12) y es biodegradable. Por consiguiente, no es factible que se bioacumule. En pruebas de laboratorio, cuando una fase libre de gasolina estaba en equilibrio con el agua, las concentraciones de benceno típicas oscilaron entre $2,42 \times 10^4$ y $1,11 \times 10^5$ µg/L.

X1.6.2 Tolueno:

X1.6.2.1 *Resumen de toxicidad* – Utilizando datos de estudios realizados en animales, el EPA de EUA ha establecido una RfD oral para el tolueno de 0,2 mg/kg/día. Al convertir un NOAEL de un estudio realizado en animales, en el cual el efecto crítico observado constó de cambios en el peso del hígado y los riñones, se aplicaron un factor de incertidumbre de 1000 y un factor de modificación de 1. El EPA ha asignado un nivel

general medio de confianza a la RfD debido a que, si bien el estudio principal se realizó correctamente, la extensión del estudio abarcó solamente una evaluación subcrónica, en lugar de crónica, además de que faltaron aspectos relacionados con la reproducción. Sobre la base de la RfD y suponiendo un 20% de exposición del agua potable, el EPA ha establecido el MCL y el MCLG del agua potable en 1000 µg/L. Los valores de los documentos HA respecto del agua potable varían entre 1 mg/L (a lo largo de la vida en relación con la RfD) y 20 mg/L (documento HA respecto del agua potable para la exposición de niños en un día).

X1.6.2.2 En situaciones en las que se consume tanto agua como organismos acuáticos de un cuerpo de agua en particular, el criterio recomendado de calidad del agua se estableció en $1,43 \times 10^4$ µg/L. Cuando sólo se consumen organismos acuáticos, el criterio es de $4,24 \times 10^5$ µg/L.

X1.6.2.3 Se obtuvo una RfC de inhalación de 0,4 mg/m³ según efectos neurológicos observados en una pequeña población de trabajadores. Se aplicó un factor de incertidumbre de 300 y un factor de modificación de 1 para convertir el nivel más bajo de efectos nocivos observados (LOAEL) a la RfC. La confianza general en la RfC se estableció en el nivel medio debido al uso de un LOAEL y a la escasez de información relativa a la exposición.

X1.6.2.4 *Resumen de los parámetros físicos y químicos* – El tolueno suele volatilizarse rápidamente en condiciones ambientales normales de superficie debido a su constante de la ley de Henry relativamente alta ($6,6 \times 10^{-3}$ m³ –atm/mol). Es móvil en suelos, a causa de su solubilidad en agua de $5,35 \times 10^5$ µg/L y su relativamente escasa sorción a los suelos (log K_{oc} estimado = 2,48) y, por lo tanto, tiene un potencial para lixiviar al agua subterránea. El tolueno posee un log K_{ow} relativamente bajo (2,73) y es biodegradable. Por consiguiente, es de esperar que la bioacumulación de tolueno sea insignificante. En pruebas de laboratorio, cuando una fase libre de gasolina estaba en equilibrio con el agua, las concentraciones de tolueno típicas oscilaron entre $3,48 \times 10^4$ y $8,30 \times 10^4$ µg/L.

X1.6.3 Xilenos:

X1.6.3.1 *Resumen de toxicidad* – Utilizando datos de estudios realizados en animales, el EPA de EUA ha establecido una RfD oral para los xilenos de 2,0 mg/kg/día. Al convertir un NOAEL de un estudio realizado en animales, en el cual los efectos críticos que se observaron fueron hiperactividad, disminución del peso corporal y aumento de mortalidad (entre las ratas macho), se utilizaron un factor de incertidumbre de 100 y un factor de modificación de 1. El EPA ha asignado un nivel general medio de confianza a la RfD, ya que, si bien el estudio principal se diseñó y realizó en la forma correcta, no se realizaron pruebas químicas que lo respaldaran. También se le asignó un nivel medio de confianza a la base de datos. Según la RfD y suponiendo un 20% de exposición del agua potable, el EPA ha establecido el MCL y el MCLG del agua potable en 10 mg/L. Se citan del Departamento de Agua Potable del EPA los valores de los documentos HA respecto del agua potable de 10 mg/L (a lo largo de la vida en adultos) y 40 mg/L (un día, diez días y a largo plazo en niños). En este momento no se dispone de criterios ambientales del agua provistos por el EPA de EUA para los xilenos. La evaluación de un RfC de inhalación se encuentra pendiente.

X1.6.3.2 *Resumen de los parámetros físicos y químicos* – Los xilenos suelen volatilizarse rápidamente en condiciones ambientales normales de superficie, según sus constantes de la ley de Henry (para el *o*-xileno, $H = 5,1 \times 10^{-3}$ m³ –atm/mol). Los xilenos poseen una solubilidad moderada en agua ($1,46$ a $1,98 \times 10^5$ µg/L) (compuesto puro), como así también una moderada capacidad de sorción a los suelos (log K_{oc} estimado = 2,38 a 2,79) y, por lo tanto, tienen movilidad en los suelos y pueden lixiviar al agua subterránea. Los xilenos son biodegradables y, al estar sus valores del log K_{ow} comprendidos entre 2,8 y 3,3, no es de esperar que bioacumulen.

X1.6.4 Etilbenceno:

X1.6.4.1 *Resumen de toxicidad* – Utilizando datos de estudios realizados en animales, el EPA de EUA ha establecido una RfD oral para el etilbenceno de 0,1 mg/kg/día. Al convertir un NOAEL del estudio realizado en animales, en el cual los efectos críticos que se observaron fueron toxicidad en el hígado y los riñones, se utilizaron un factor de incertidumbre de 1000 y un factor de modificación de 1. El EPA ha asignado un nivel general bajo de confianza a la RfD debido a que el estudio no estaba bien diseñado y la confianza en la base de datos que lo respalda también es baja. Según la RfD y suponiendo un 20% de exposición del agua potable, el EPA ha establecido el MCL y el MCLG del agua potable en 700 µg/L. Los valores de los documentos HA respecto del agua potable varían entre 700 mg/L (equivalente de toda la vida en relación con la RfD) y 32 mg/L (valores de un día para un niño). En situaciones en las que se consume tanto agua como organismos acuáticos de un cuerpo de agua en particular, el criterio recomendado de calidad del agua ambiente se estableció en 1400µg/L. Cuando sólo se consumen organismos acuáticos, el criterio es de 3280 µg/L. Se obtuvo una RfC de inhalación de 1 mg/m³ según efectos de toxicidad del desarrollo observados en ratas y conejos. Se utilizó un factor de incertidumbre de 300 y un factor de modificación de 1 para convertir el

NOAEL a la RfC. Tanto el diseño del estudio como la base de datos recibieron una baja calificación y, por lo tanto, la confianza general en el RfC se estableció en el nivel bajo.

X1.6.4.2 *Resumen de los parámetros físicos y químicos* – El etilbenceno tiene una constante de la ley de Henry relativamente alta ($8,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{-atm/mol}$) y, por lo tanto, puede volatilizar rápidamente en condiciones ambientales normales de superficie. Basándose en su moderada solubilidad en agua ($1,52 \times 10^5 \text{ } \mu\text{g/L}$) y su moderada capacidad de sorción a los suelos ($\log K_{oc}$ estimado = 3,04), tiene una movilidad moderada en el suelo y puede lixiviar al agua subterránea. En pruebas de laboratorio, cuando una fase libre de gasolina se encontraba en equilibrio con el agua, las concentraciones combinadas de etilbenceno y xilenos en el agua oscilaron entre $1,08 \times 10^4$ y $2,39 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/L}$ debido a efectos de partición. El etilbenceno posee un $\log K_{ow}$ moderadamente bajo (3,15) y es biodegradable. Por consiguiente, no es de esperar que se bioacumule. En pruebas de laboratorio, cuando una fase libre de gasolina estaba en equilibrio con el agua, las concentraciones combinadas de etilbenceno y xilenos en el agua oscilaron entre $1,08 \times 10^4$ y $2,39 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/L}$.

X1.6.5 *Naftalenos:*

X1.6.5.1 *Resumen de toxicidad* – En general, el envenenamiento con naftaleno puede ocurrir por ingestión de grandes dosis, inhalación o absorción a través de la piel. Puede provocar náuseas, dolor de cabeza, diaforesis, hematuria, fiebre, anemia, daño en el hígado, vómitos, convulsiones y coma. Los metilnaftalenos aparentemente presentan una toxicidad menos aguda que los naftalenos. Los únicos efectos que se han informado en seres humanos son irritación de la piel y fotosensibilización de ella. La inhalación del vapor puede producir dolor de cabeza, confusión, náuseas y, algunas veces, vómitos. Las preocupaciones ambientales respecto de los naftalenos se atribuyen principalmente a los efectos que tienen sobre los organismos acuáticos. En consecuencia, el EPA no ha establecido criterios para estos productos en cuanto a la salud de los seres humanos (es decir, no hay criterios acerca de la RfD o RfC, MCL o MCLG del agua potable ni criterios ambientales acerca de la calidad del agua). Actualmente, el EPA está revisando una evaluación de riesgos para definir una RfD para estos productos. Los valores de los documentos HA respecto del agua potable varían entre $20 \text{ } \mu\text{g/L}$ (a lo largo de la vida para adultos) y $500 \text{ } \mu\text{g/L}$ (valores de un día para un niño)⁶.

X1.6.5.2 *Resumen de los parámetros físicos y químicos: Naftaleno* – El naftaleno tiene una constante de la ley de Henry relativamente alta ($1,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{-atm/mol}$) y, por lo tanto, puede volatilizar rápidamente en condiciones ambientales normales de superficie. Tiene una moderada solubilidad en agua ($3,10 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/L}$) y un $\log K_{oc}$ de (3,11) y puede lixiviar al agua subterránea. Se ha informado un valor moderado del $\log K_{ow}$ de 3,01, pero debido a que el naftaleno es muy biodegradable, es muy poco probable que se bioconcentre en forma significativa.

X1.6.5.3 *Metilnaftalenos* - Las constantes de la ley de Henry ($2,60 \times 10^{-4} \text{ m}^3\text{-atm/mol}$ y $5,18 \times 10^{-4} \text{ m}^3\text{-atm/mol}$ para 1-metilnaftaleno y 2-metilnaftaleno, respectivamente) sugieren que estos materiales tienen la posibilidad de volatilizar en condiciones ambientales normales de superficie. El 1-metilnaftaleno tiene una solubilidad en agua similar a aquella del naftaleno ($2,60 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/L}$ a $2,8 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/L}$). Sin embargo, la solubilidad disminuye a medida que aumenta la alquilación (dimetilnaftalenos: $2,0 \times 10^3 \text{ } \mu\text{g/L}$ a $1,1 \times 10^4 \text{ } \mu\text{g/L}$; 1,4,5-trimetilnaftaleno: $2,0 \times 10^3 \text{ } \mu\text{g/L}$). Por ende, estos materiales son entre apenas móviles y relativamente inmóviles en el suelo (por ejemplo: el $\log K_{oc}$ se encuentra entre 2,86 y 3,93 para los 1-metilnaftalenos y los 2-metilnaftalenos). En los sistemas acuáticos, los metilnaftalenos pueden dividirse de la columna de agua hasta la materia orgánica presente en sedimentos y sólidos suspendidos. Los metilnaftalenos tienen altos valores del $\log K_{ow}$ (superiores a 3,5) y pueden bioacumularse. Sin embargo, presentan un grado moderado de biodegradación, que normalmente disminuye a medida que aumenta la alquilación.

X1.6.6 *PAH con tres y hasta seis anillos* - El efecto más significativo que esta clase de compuestos tiene sobre la salud es su carcinogenicidad, la que depende de la estructura. Se ha demostrado que el antraceno y el fenantreno provocan cáncer en animales de laboratorio. Los datos disponibles no prueban que el pireno sea carcinogénico en animales utilizados para experimentos. Por el contrario, se ha demostrado en animales de laboratorio que el benz[a]-antraceno, el benzo[a]pireno, el dibenz[a,h]antraceno y el 7,12-dimetilbenz[a]-antraceno son carcinógenos. En los puntos X1.6.7 y X1.6.8 se trata el tema del B(a)P y el pireno como representantes de efectos carcinogénicos y no carcinogénicos dentro de esta clase.

X1.6.7 *Benzo(a)pireno (BaP):*

X1.6.7.1 *Resumen de toxicidad* – De acuerdo con datos obtenidos a partir de animales, el B(a)P ha sido clasificado por el EPA de EUA como probable carcinógeno humano (carcinógeno B2). Se ha obtenido un margen de factores de pendiente oral entre 4,5 y 11,7 (mg/kg/día^{-1}) con una media geométrica de 7,3 (mg/kg/día^{-1}) para los B(a)P, sobre la base de la observación de tumores en la parte anterior del estómago y

⁶ Departamento de Agua [Office of Water], EPA de EUA, Washington, DC.

carcinomas de células escamosas en ratones. Los datos fueron considerados un poco menos que óptimos pero aceptables (obsérvese que la evaluación de carcinogenicidad para B(a)P puede variar en un futuro cercano dado que el EPA actualmente está realizando una revisión cuyo resultado aún está pendiente). El EPA ha propuesto un MCL de agua potable de 0,2 µg/L (según límites de detección analíticos). El MCLG para el B(a)P se estableció en cero. En situaciones en las que se consume tanto agua como organismos acuáticos de un cuerpo de agua en particular, el criterio de calidad del agua recomendado por el EPA se estableció en $2,8 \times 10^{-3}$ µg/L. Cuando sólo se consumen organismos acuáticos, el criterio es de $3,11 \times 10^{-2}$ µg/L.

X1.6.7.2 Resumen de los parámetros físicos y químicos – Cuando hay una fuga de PAH al agua, este componente no volatiliza rápidamente (las constantes de la Ley de Henry se encuentran en el orden de $1,0 \times 10^{-4}$ m³-atm/mol o menos) en condiciones ambientales normales. Tienen valores bajos de solubilidad en agua y tienden a sorber a los suelos y los sedimentos, y se mantienen en forma fija en el medio ambiente. Los miembros de este grupo con tres anillos, tales como el antraceno y el fenantreno, tienen valores de solubilidad en agua en el orden de 1000 µg/L. Las solubilidades en agua disminuyen sustancialmente en las moléculas más grandes del grupo. Por ejemplo, el benzo[a]pireno tiene una solubilidad en agua de 1,2 µg/L. Los valores del log K_{oc} de los PAH se encuentran en el orden de 4,3 y superiores, lo que sugiere que los PAH presentan una fuerte adsorción a los suelos. Los PAH con más de tres anillos generalmente tienen altos valores del log K_{ow} (6,06 para el benzo[a]pireno), poseen características de biodegradabilidad escasa y pueden bioacumularse.

X1.6.8 Pireno:

X1.6.8.1 Resumen de toxicidad - Utilizando datos de estudios realizados en animales, el EPA de EUA ha establecido una RfD oral para el pireno de 3×10^{-2} mg/kg/día. Al convertir un NOAEL del estudio realizado en animales, en el cual los efectos críticos que se observaron fueron toxicidad en los riñones, se utilizaron un factor de incertidumbre de 3000 y un factor de modificación de 1. El EPA ha asignado un nivel general bajo de confianza a la RfD debido a que, si bien el estudio estaba bien diseñado, la confianza en la base de datos que lo respalda es baja. No se han establecido MCL o documentos del EPA HA respecto del agua potable. En situaciones en las que se consume tanto agua como organismos acuáticos de un cuerpo de agua en particular, el criterio de calidad del agua recomendado por el EPA se estableció en $2,8 \times 10^{-3}$ µg/L. Cuando sólo se consumen organismos acuáticos, el criterio es de $3,11 \times 10^{-2}$ µg/L.

X1.6.8.2 Resumen de los parámetros físicos y químicos – Remitirse al punto X1.6.7.2 para los BaP. También consultar la Tabla X1.2.

X1.6.9 MTBE:

X1.6.9.1 Resumen de toxicidad - Utilizando datos de estudios realizados en animales, el EPA de EUA ha establecido una RfC de inhalación para el MTBE de 3 mg/m³. Al convertir un NOAEL del estudio realizado en animales, en el cual los efectos críticos que se observaron fueron incremento de peso del hígado y los riñones y una mayor gravedad en las lesiones renales espontáneas (hembras), un aumento de la postración (hembras) e inflamación del tejido pericólico, se utilizaron un factor de incertidumbre de 100 y un factor de modificación de 1. El EPA ha asignado un nivel general de confianza medio a la RfC debido a que, si bien el estudio estaba bien diseñado, faltaba un poco de información acerca de la química. La confianza en la base de datos que lo respalda es media a alta. No se han establecido MCL o criterios ambientales de calidad del agua. Sin embargo, el EPA actualmente está realizando la revisión de una evaluación de riesgos que puede definir una RfD para este producto. Los valores de los documentos HA respecto del agua potable varían entre 40 µg/L (a lo largo de la vida para un adulto) y 3000 µg/L (valores de un día para un niño)⁶.

X1.6.9.2 Resumen de los parámetros físicos y químicos – La constante de la ley de Henry para el MTBE se estima aproximadamente en $1,0 \times 10^{-3}$ m³-atm/mol). Por lo tanto, tiene la posibilidad de volatilizar rápidamente en condiciones ambientales normales de superficie. Es muy soluble en agua (su solubilidad en agua es de $4,8 \times 10^7$ µg/L) y, al tener una capacidad de sorción a los suelos relativamente baja (log K_{oc} estimado = 1,08), el MTBE migrará a la misma velocidad que el agua en la que está disuelto en la superficie. El valor del log K_{ow} se ha estimado entre 1,06 y 1,30, lo que indica el bajo potencial de bioacumulación del MTBE. Se cree que la posibilidad de que se biodegrade es baja, pero no hay estudios definitivos al respecto.

X1.6.10 Plomo:

X1.6.10.1 Resumen de toxicidad – (La información que se presenta a continuación es para el plomo inorgánico, no para las formas orgánicas de plomo (tetraetil plomo, tetrametil plomo) que estaban presentes en los productos derivados del petróleo). Existe una gran cantidad de información toxicológica acerca de los efectos del plomo respecto de la salud. El plomo produce efectos neurotóxicos y del comportamiento, en especial en niños. Sin embargo, el EPA cree que no es pertinente establecer una RfD para el plomo y sus compuestos inorgánicos, dado que considera que algunos de los efectos pueden ocurrir en concentraciones tan bajas que hacen suponer que no hay límite umbral. El EPA también ha determinado que el plomo es un

probable carcinógeno humano (clasificado como B2). Este ente ha optado por no establecer un factor numérico de pendiente en este momento, debido a que se cree que los procedimientos habituales para hacerlo pueden no ser adecuados para el plomo. En la actualidad, el EPA ha establecido un MCLG de cero pero no un MCL ni valores de los documentos HA respecto del agua potable, ya que se observaron efectos a niveles bajos al objetivo general del Ente de reducir la exposición al plomo en su totalidad y a su clasificación como carcinógeno B2. Para los sistemas de distribución de agua, se ha establecido un nivel de acción de 15 µg/L (normal en canillas). El criterio de calidad del agua recomendado por el EPA, tanto para el consumo de agua como de especies acuáticas, se estableció en 50 µg/L.

X1.6.10.2 *Resumen de los parámetros físicos y químicos* – Los compuestos de aditivos de plomo orgánico son volátiles (constante de la ley de Henry estimada para el tetraetil plomo = $7,98 \times 10^{-2} \text{ m}^3\text{-atm/mol}$) y tiene la capacidad de sorción a material particulado en el aire. El tetraetil plomo tiene una solubilidad en agua de 800 µg/L y un log K_{oc} estimado de 3,69 y, por consiguiente, no debería ser muy móvil en los suelos. Se descompone en plomo inorgánico en soluciones acuosas diluidas y en contacto con otros medios ambientales. Sin embargo, en plumas de producto libre (gasolina), puede mantenerse sin sufrir cambios. Los compuestos de plomo inorgánico se ligan fuertemente a la mayoría de los suelos con mínima lixiviación en condiciones naturales. La solubilidad en agua varía según las especies incluidas. La capacidad de sorción del plomo al suelo se correlaciona con el pH del suelo, la capacidad de intercambio de cationes y con la materia orgánica. El plomo no parece bioconcentrarse en forma significativa en los peces, pero sí lo hace en algunos mariscos, como por ejemplo los mejillones; no es biodegradable.

X1.7. *Exposición sobre el riesgo aceptable (12)* – A fines de la década de los 70 y a comienzos de la década de los '80, los entes de reglamentación de los Estados Unidos y de otros países, con frecuencia, adoptaban un criterio de riesgo de cáncer de uno en un millón como un riesgo insignificante (es decir, un riesgo sin interés) cuando poblaciones bastante grandes podían estar expuestas a un supuesto carcinógeno. Desafortunadamente, los mayores riesgos de cáncer teóricos de uno en un millón a menudo se consideran incorrectamente como riesgos graves para la salud pública. Según las recientes opiniones del Dr. Frank Young (13), el actual comisionado de la Administración de Alimentos y Fármacos [*Food and Drug Administration (FDA)*], la intención de tales estimaciones no era esa.

X1.7.1 Al aplicar el concepto de minimis y al establecer otras normas de seguridad, la FDA se ha guiado por la cifra de “uno en un millón”. Otros entes federales también han utilizado un riesgo mayor de uno en un millón a lo largo de la vida como un criterio razonable para separar los problemas de alto riesgo que justificaban la atención, por parte del organismo, de aquellos con riesgo insignificante, que no justificaban tal atención.

X1.7.2 El nivel de riesgo de uno en un millón, con frecuencia, no es interpretado correctamente por el público y los medios. No es un riesgo real, es decir, no se espera que una persona de cada millón contraiga cáncer si bebe café descafeinado. En realidad, es un riesgo matemático basado en premisas científicas utilizadas en la evaluación de riesgos. La FDA utiliza una estimación conservadora para asegurarse de que no se subestime el riesgo. Interpretamos los resultados de las pruebas realizadas en animales de manera conservadora y somos, en extremo, cuidadosos al extrapolar los riesgos a los seres humanos. Cuando la FDA utiliza el nivel de riesgo de uno en un millón, confía que el riesgo para los seres humanos es casi inexistente.

X1.7.3 En resumen, una estimación de riesgo de cáncer de “uno en un millón” que, a menudo, algunos responsables de la creación de políticas suponen, tácitamente, representa un nivel disparador para la acción de regulación, en realidad representa un nivel de riesgo que es tan bajo como para ser insignificante en cuanto al interés en él.

X1.7.4 Otra percepción errónea respecto de la evaluación de riesgos es que todas las disposiciones ocupacionales y ambientales tienen como objetivo un riesgo máximo de cáncer que, en teoría, es de 1 en 1.000.000. Travis, et al, (14) recientemente llevó a cabo un examen retrospectivo del nivel de riesgo que originó una acción de reglamentación en 132 decisiones. Se consideraron tres variables: (1) riesgo individual (una estimación del límite superior de la probabilidad en la exposición más alta), (2) riesgo de la población (una estimación del límite superior de la cantidad de incidencias de cáncer adicionales en la población expuesta) y (3) tamaño de la población. Las conclusiones de Travis, et al, (14) se pueden resumir de la siguiente manera:

X1.7.4.1 Cada sustancia química con un riesgo individual a lo largo de la vida superior a 4×10^{-3} fue reglamentada. Aquellas con valores por debajo de 1×10^{-6} continuaron sin reglamentación.

X1.7.4.2 En el caso de las poblaciones pequeñas, nunca se originaron acciones de reglamentación ante riesgos individuales por debajo de 1×10^{-4} .

X1.7.4.3 En el caso de posibles efectos como resultado de exposiciones a toda la población de los Estados Unidos de Norteamérica, un nivel de riesgo inferior a 1×10^{-6} nunca dio origen a una acción. Un nivel de riesgo superior a 3×10^{-4} siempre originó una acción.

X1.7.5 Rodricks, et al, (15) también evaluó las decisiones de reglamentación y arribó a conclusiones similares. En las decisiones relacionadas con la promulgación de Normas Nacionales de Emisión para los Agentes Contaminantes Peligrosos del Aire [*National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAPS)*], el EPA de EUA determinó que los riesgos individuales máximos y los riesgos para el total de la población a partir de un número de fuentes de radionúclidos y benceno, resultaron demasiado bajos para ser considerados importantes. Los riesgos individuales máximos se encontraron entre $3,6 \times 10^{-5}$ y $1,0 \times 10^{-3}$. En vista de los riesgos que el EPA de EUA consideró insignificantes, Rodricks, et al, (15) observó que 1×10^{-3} (1 en 1.000.000) parece estar dentro de los valores que el EPA podría considerar como un riesgo promedio insignificante a lo largo de la vida, por lo menos en donde un riesgo de la población en general no es superior a una fracción de un cáncer al año.

X1.7.6 Recientemente, las revisiones finales del Plan de Contingencia Nacional [*National Contingency Plan*] (16) han establecido el valor de riesgo aceptable entre 10^{-4} y 10^{-6} en sitios con desechos peligrosos que se rigen de conformidad con la Ley de Responsabilidad Amplia por Daños Ambientales [*CERCLA*]. En las *Revisiones de las Características de Toxicidad del Sistema de Manejo de Desechos Peligrosos* (17) [*Hazardous Waste Management System Toxicity Characteristics Revisions*], el EPA de EUA ha declarado lo siguiente:

“El EPA establece para los agentes contaminantes del agua potable, un margen de riesgo de referencia para los carcinógenos de 10^{-6} en exceso del riesgo de cáncer individual de una exposición a lo largo de la vida. La mayoría de las acciones de reglamentación en diversos programas del EPA, por lo general, han puesto este valor como objetivo, mediante el empleo de modelos conservadores que no tienen muchas posibilidades de subestimar el riesgo.

X1.7.7 Curiosamente, el EPA de EUA ha seleccionado y promulgado un solo nivel de riesgo de 1 en 100.000 (1×10^{-5}) en las *Revisiones de las Características de Toxicidad del Sistema de Manejo de Desechos Peligrosos* [*Hazardous Waste Management System Toxicity Characteristics*] (17). En su justificación, el EPA de EUA expuso las siguientes razones:

“El nivel de riesgo elegido de 10^{-5} se encuentra en el punto medio del margen de riesgo de referencia para los carcinógenos (10^{-4} a 10^{-6}) que generalmente se utiliza para evaluar las acciones de conformidad con la ley CERCLA. Asimismo, al establecer el nivel de riesgo para los carcinógenos TC en 10^{-5} , el EPA cree que ese es el nivel de riesgo más alto que puede llegar a experimentarse, y que la mayoría de los riesgos, si no todos, estarán por debajo de este nivel debido a la naturaleza, en general, conservadora del escenario de exposición y los criterios subyacentes respecto de la salud. Por estos motivos, el Ente considera que un nivel de riesgo de 10^{-5} para los carcinógenos de los Grupos A, B y C es adecuado para delinear, de conformidad con las Características de Toxicidad, desechos que claramente representan un peligro cuando se los maneja en forma incorrecta”.

X1.7.8 Al considerar estos límites, es interesante observar que muchas actividades habituales del ser humano conllevan riesgos anuales muy superiores al de uno en un millón. Estos riesgos han sido tratados por Grover Wrenn, ex director de Cumplimiento Federal y de los Programas Estatales [*Federal Compliance and State Programs*] en OSHA [Administración de la Seguridad y la Higiene Ocupacionales - *Occupational Safety and Health Administration*], como se indica a continuación:

X1.7.9 Los entes estatales de reglamentación no han adoptado un criterio de riesgo de uno en un millón (1×10^{-6}) de manera uniforme al tomar decisiones ambientales y ocupacionales. Los estados de Virginia, Maryland, Minnesota, Ohio y Wisconsin han empleado el nivel de riesgo de uno en cien mil (1×10^{-5}), o han propuesto su uso, para la toma de decisiones en cuanto al manejo de riesgos (18). El Departamento de Servicios Humanos del Estado de Maine [*Department of Human Services*] (DHS) utiliza un riesgo a lo largo de la vida de uno en cien mil como referencia para los efectos (carcinogénicos) no umbrales, al tomar decisiones de manejo de riesgos en relación con las exposiciones a agentes contaminantes del medio ambiente (19). Del mismo modo, el Estado de Massachusetts utiliza un nivel de riesgo progresivo de cáncer a lo largo de la vida de uno en cien mil como límite de riesgo de cáncer para exposiciones a sustancias en más de un medio en sitios de eliminación de desechos peligrosos (20). Este límite de riesgo representa el riesgo total de cáncer del sitio asociado con la exposición a sustancias químicas múltiples en todos los medios contaminados. El Estado de California también ha establecido un nivel de riesgo de uno en cien mil para utilizar en la determinación de los niveles de sustancias químicas y exposiciones que representan riesgos sin importancia de contraer cáncer, de acuerdo con la Ley de Aplicación de la Legislación sobre Agua Potable Segura y Sustancias Tóxicas de 1986 [*Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act*] (Proposición 65) (21). Las

normas respecto del aire en el lugar de trabajo, desarrolladas por la OSHA típicamente reflejan los riesgos teóricos de uno en mil (1×10^{-3}) o superiores (15).

X1.7.10 En última instancia, la selección de un nivel de riesgo aceptable y de minimis constituye una decisión de política respecto de la cual deberían evaluarse en profundidad los costos y los beneficios de las medidas anticipadas. Sin embargo, los datos actuariales y las estimaciones de riesgos de las actividades habituales del ser humano, los precedentes de reglamentación y la relación entre la magnitud y la discrepancia de las estimaciones esenciales y las de riesgo progresivo, proporcionan un respaldo persuasivo para la adopción del nivel de riesgo de minimis de 1×10^{-5} con fines de reglamentación.

X1.7.11 En resumen, los entes de reglamentación federales y estatales de los Estados Unidos han adoptado un riesgo de cáncer de uno en un millón como criterio de preocupación insignificante en situaciones en las que grandes poblaciones (por ejemplo 200 millones de personas) se exponen en forma involuntaria a sustancias que se sospecha son carcinógenos (por ejemplo: aditivos en alimentos). Cuando se exponen poblaciones más pequeñas (por ejemplo en ambientes ocupacionales), se han considerado aceptables los riesgos teóricos de cáncer de hasta 10^{-4} (1 en 10.000).

X2. DESARROLLO DE LOS NIVELES DE SELECCIÓN BASADOS EN RIESGOS [RISK-BASED SCREENING LEVELS (RBSL)], QUE APARECEN EN EL EJEMPLO DE LA TABLA DE CONSULTA X2.1

Introducción:

X2.1.1 Este apéndice contiene las ecuaciones y parámetros que se utilizan para construir el ejemplo de “Tabla de Consulta” (Tabla X2.1). Esta tabla fue preparada con el mero propósito de presentar un ejemplo de matriz de RBSL del Nivel 1. Los valores que contiene no se deberán considerar o utilizar, de manera errónea, como propuestas de “normas” de remediación. El lector debe tener en cuenta que no se han considerado la totalidad de las vías y que se ha establecido una serie de premisas para los escenarios de exposición y para los valores de los parámetros. Antes de utilizar los RBSL como valores de evaluación del Nivel 1, es necesario llevar a cabo una revisión de estos factores para asegurar que sean los adecuados.

X2.1.2 A continuación, se analizan brevemente los criterios utilizados para calcular los RBSL de la Tabla X2.1 para el caso de exposición a vapores, agua subterránea, suelos superficiales y suelos subterráneos, por medio de las siguientes vías:

X2.1.2.1 Inhalación de vapores;

X2.1.2.2 Ingestión de agua subterránea;

X2.1.2.3 Inhalación de vapores de circulación externa, producidos por hidrocarburos disueltos en agua subterránea;

X2.1.2.4 Inhalación de vapores de circulación interna, producidos por hidrocarburos disueltos en agua subterránea;

X2.1.2.5 Ingestión de suelo superficial, inhalación de particulados y vapor de circulación externa, que emanan de suelos superficiales, y absorción dérmica producida por el contacto de la piel con el suelo superficial;

X2.1.2.6 Inhalación de vapores de circulación externa, originados por hidrocarburos de suelos subterráneos;

X2.1.2.7 Inhalación de vapores de circulación interna, originados por hidrocarburos subterráneos, y

X2.1.2.8 Ingestión de agua subterránea impactada por lixiviación de hidrocarburos disueltos, provenientes de suelos subterráneos.

X2.1.3 Para las vías que se han considerado, los criterios utilizados en este apéndice son compatibles con las pautas de Ref (26).

X2.1.4 El análisis que se presenta a continuación se centra exclusivamente en RBSL para exposiciones crónicas (de largo plazo) en seres humanos.

[Insertar la Tabla X2.1]

Tabla X2.1 Ejemplo de tabla de búsqueda del nivel de selección basado en riesgos (RBSL) correspondiente al Nivel 1^A

Nota 1: La Tabla que se presenta a continuación es sólo un ejemplo de los RBSL de Nivel 1. No constituye un listado de estándares propuestos. El usuario deberá analizar la totalidad de las premisas antes de utilizar cualquier valor. El Apéndice X2 describe la base para estos valores.

Inglés	Español
Benzene	Benceno
Benzo(a)pyrene	Benzo(a)pireno
Cancer risk	Riesgo de cáncer
Chronic HQ	HQ crónico (HQ= Coeficiente de Peligro)
Commercial	Comercial
Continued	Continuación
Ethylbenzene	Etilbenceno
Exposure Pathway	Vía de Exposición
Ground water ingestion	Ingestión de agua subterránea
Ground water –vapor intrusion from ground water to buildings	Invasión de vapor en agua subterránea, desde el agua subterránea a los edificios
Ground water volatilization to outdoor air	Volatilización del agua subterránea al aire externo
Indoor air screening levels for inhalation exposure	Niveles de selección del aire de circulación interna para la exposición a inhalación
Industrial	Industrial
Mean Odor Detection Threshold	Umbral medio de detección del olor
Naphtalenes	Naftalenos
National Indoor background concentration range	Margen nacional de concentración interna de fondo
Outdoor air screening levels for inhalation exposure	Niveles de selección del aire de circulación externa para la exposición a inhalación
Receptor Scenario	Escenario del Receptor
Residential	Residencial
Soil-leachate to protect ground water ingestion target level	Nivel objetivo de lixiviado del suelo para impedir la ingestión de agua subterránea
Soil-vapor intrusion from soil to buildings	Invasión de vapores en suelo, desde suelo a los edificios
Soil volatilization to outdoor air	Volatilización del suelo al aire de circulación externa
Surficial soil ingestion/dermal/inhalation	Ingestión/contacto con la piel/inhalación de suelo superficial
Target Level	Nivel Objetivo
Toluene	Tolueno
Xylenes (Mixed)	Xilenos (Mezclados)

^AComo volátiles de brea de alquitrán de hulla, soluble al benceno

^BVer Ref (22)

^CVer Ref (23-25)

^DRES – No se excede el nivel de riesgo seleccionado para compuestos puros presentes en ninguna concentración.

^E>S – No se excede el nivel de riesgo seleccionado para todos los niveles disueltos posibles (= < solubilidad del componente puro).

X2.1.4.1 Para el caso de compuestos que correspondan a la clasificación de carcinógenos, los RBSL se basan en la siguiente ecuación general:

$$\text{Riesgo} = \text{toma promedio a lo largo de la vida [mg/kg -día]} \times \text{P5 factor de potencia [mg/kg -día]}^{-1} \quad (\text{X2.1}),$$

en la cual la toma depende de los parámetros de exposición (tasa de ingestión, duración de la exposición, etc.), la concentración de la fuente, y la velocidad de transporte entre la fuente y el receptor. El factor de potencia se selecciona luego de examinar una serie de fuentes, entre las que se incluyen, la base de datos del Sistema Integrado de Información sobre Riesgos, [*Integrated Risk Information System (IRIS)*] del Ente de Protección Ambiental (EPA) de EUA [(*USEPA US Environmental Protection Agency*)] (2), las Tablas de Resumen de Evaluación de Efectos sobre la Salud de USEPA (*HEAST*) (3), y fuentes examinadas por pares profesionales. Los valores de RBSL que aparecen en la Tabla X2.1 corresponden a probabilidades de efectos nocivos para la salud (“riesgos”) que resultan de la exposición que se especifica, en la escala de 10^{-6} a 10^{-4} . Se debe tener en cuenta que este valor de riesgo no refleja la probabilidad de que ocurra el escenario de exposición que se especifica. Por consiguiente, el verdadero riesgo potencial de estos RBSL para una población es inferior a la escala de 10^{-6} a 10^{-4} .

X2.1.4.2 Para el caso de compuestos que no corresponden a la clasificación de carcinógenos, los RBSL se basan en la siguiente ecuación general:

$$\text{Coeficiente de peligro} = \frac{\text{toma promedio [mg/kg -día]}}{\text{dosis de referencia [mg/kg -día]}} \quad (\text{X2.2}),$$

en la cual la toma dependerá de los parámetros de exposición (tasa de ingestión, duración de la exposición, etc.), la concentración de la fuente, y la velocidad de transporte entre la fuente y el receptor. La dosis de referencias se selecciona luego de examinar un número de fuentes, entre las que se incluyen la base de datos del Sistema Integrado de Información sobre Riesgos (IRIS) (2) de USEPA, Tablas de Resumen de Evaluación de Efectos sobre la Salud de USEPA (HEAST) (3), y fuentes revisadas por pares profesionales. Los valores de RBSL que aparecen en la Tabla X2.1 corresponden a coeficientes de peligro unitarios que resultan de la exposición que se especifica. Se debe tener en cuenta que este valor del coeficiente de peligro no refleja la probabilidad de que ocurra el escenario de exposición que se especifica. Por consiguiente, el riesgo potencial real de estos RBSL para una población es inferior a un coeficiente de peligro unitario.

X2.1.5 Las Tablas X2.2-X2.7 resumen las ecuaciones y parámetros que se utilizan para preparar el ejemplo de Tabla de búsqueda X2.1. El fundamento de cada una de estas ecuaciones se analiza en X2.2-X2.10.

X2.2 Aire – Inhalación de Vapores (Externos/Internos) – En este caso, la toma de sustancias químicas proviene de la inhalación de vapores. Se asume que las concentraciones de vapor permanecen constantes durante el transcurso de la exposición y que la totalidad de las sustancias químicas inhaladas se absorben. Las ecuaciones que aparecen en las Tablas X2.2 y X2.3 para el cálculo de los RBSL en el caso de las concentraciones de vapor en la zona apta para la respiración siguen las pautas de la Ref (26). Si se diera que el RBSL calculado excede la concentración de vapor saturado de cualquier componente individual, se incluirá en la Tabla la consigna “>P_{vap}”, para indicar que no es posible alcanzar o exceder el coeficiente de peligro o el nivel de riesgo seleccionado para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica.

X2.3 Agua subterránea – Ingestión de Agua subterránea – En este caso, la toma de sustancias químicas proviene de la ingestión de agua subterránea. Se asume que las concentraciones de hidrocarburos disueltos permanecen constantes durante el transcurso de la exposición. Las ecuaciones que aparecen en las Tablas X2.2 y X2.3 para calcular RBSL en el caso de las concentraciones de agua potable siguen las pautas de la Ref (26) para la ingestión de sustancias químicas en agua potable. Si ocurriese que el RBSL calculado excede la solubilidad de un componente puro para cualquier componente individual, se registrará en la Tabla la consigna “>S”, para indicar que no es posible alcanzar o exceder el coeficiente de peligro o nivel de riesgo seleccionados para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica (salvo que se mezcle producto en fase libre con el agua ingerida).

X2.4 Agua subterránea – Inhalación de Vapores Externos:

X2.4.1 En este caso, la toma de sustancias químicas proviene de la inhalación de vapores de circulación externa, producidos por hidrocarburos disueltos en agua subterránea ubicada a cierta distancia por debajo de la superficie del suelo. En este caso, el objetivo consiste en determinar el RBSL para hidrocarburos disueltos que corresponden al RBSL objetivo para vapores de circulación externa en la zona apta para la respiración, tal como se indica en las Tablas X2.2 y X2.3. Si la concentración objetivo de vapor que se ha seleccionado corresponde a un valor diferente del RBSL para inhalación (es decir, criterio ecológico o umbral de olor), se podrá sustituir este valor por el parámetro $RBSL_{air}$, que aparece en las ecuaciones incluidas en las Tablas X2.2 y X2.3.

X2.4.2 La Fig. X2.1 expone un modelo conceptual de transporte de sustancias químicas desde el agua subterránea al aire ambiental. Con el propósito de simplificar, la relación entre el aire de circulación externa y las concentraciones de agua subterránea disueltas está representada en las Tablas X2.2 y X2.3 por el “factor de volatilización”, VF_{wamb} [(mg/m³-aire)/mg/L-H₂O)], a su vez definido en la Tabla X2.5; se basa en las siguientes premisas:

X2.4.2.1 Una concentración constante de sustancias químicas disueltas en el agua subterránea;

X2.4.2.2 Partición del equilibrio lineal entre las sustancias químicas disueltas en el agua subterránea y los vapores de sustancias químicas del nivel freático;

X2.4.2.3 Difusión en estado estacionario, en fase líquida y de vapor, a través de la franja capilar y de las zonas vadosas hacia la superficie del terreno;

X2.4.2.4 Ausencia de pérdida de sustancias químicas al difundirse hacia la superficie del terreno (es decir, inexistencia de biodegradación), y

X2.4.2.5 Dispersión atmosférica, estable y bien mezclada, de los vapores que emanan dentro de la zona apta para la respiración, como lo caracteriza un “modelo de box” de dispersión del aire.

X2.4.3 Si el $RBSL_w$ calculado excede la solubilidad del componente puro para cualquier componente individual, se registrará “>S” en la Tabla, a efectos de indicar que no es posible alcanzar o exceder el nivel de riesgo o coeficiente de peligro seleccionados para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica.

[Insertar la Tabla X2.2 y, a continuación, la Tabla X2.3 y luego la Tabla X2.4]

TABLA X2.2 Ecuaciones utilizadas para desarrollar el ejemplo de nivel de selección basado en riesgos, correspondiente al Nivel 1, que aparecen en la Tabla de Búsqueda X2.1 – Efectos Carcinogénicos^A

Nota: Ver Tablas X2.4 hasta la X2.7 para la definición de parámetros.

Inglés	Español
Air	Aire
Ambient (outdoor) vapor inhalation	Inhalación de vapor ambiental (externo)
Enclosed –space (indoor) vapor inhalation	Inhalación de vapor en espacios cerrados (vapor interno)
Exposure Route	Ruta de Exposición
Ground water	Agua subterránea
Ingestion (potable ground water supply only)	Ingestión (suministro de agua subterránea potable solamente)
Ingestion of soil, inhalation of vapors and particulates, and dermal contact	Ingestión de suelo, inhalación de vapores y particulados, y contacto con la piel
Inhalation	Inhalación
Leaching to ground water	Lixiviación al agua subterránea
Medium	Medio
Risk-Based Screening Level (RBSL)	Nivel de selección basado en riesgos (RBSL)
Subsurface soil	Suelo subterráneo
Surficial soil	Suelo superficial

^A Obsérvese que todos los valores de RBSL deben ser comparados con límites de partición termodinámica, tales como los niveles de solubilidad, concentraciones máximas de vapor, etc. Si un RBSL excede el límite de partición correspondiente, esto indica que el nivel de peligro o riesgo seleccionado nunca se alcanzará o excederá para esa sustancia química y el escenario de exposición seleccionado.

^B Los niveles de evaluación para estos medios que se basan en otras consideraciones (por ejemplo, estéticas, niveles de fondo, protección de recursos del medio ambiente, etc.) pueden derivarse con estas ecuaciones, sustituyendo el nivel objetivo seleccionado por el $RBSL_{air}$ o $RBSL_w$ que aparece en estas ecuaciones.

^C Estas ecuaciones se basan en la Ref (26)

^D Estas ecuaciones definen, simplemente, los “factores de partición de medios cruzados”, VF_{ii} y LF_{sw}

TABLA X2.3 Ecuaciones utilizadas para desarrollar el ejemplo de nivel de selección basado en riesgos, correspondiente al Nivel 1, que aparecen en la Tabla de Búsqueda X2.1 – Efectos No Carcinogénicos^A

Nota: Ver Tablas X2.4 hasta la X2.7 para la definición de parámetros.

Inglés	Español
Air	Aire
Ambient (outdoor) vapor inhalation	Inhalación de vapor ambiental (vapor externo)
Enclosed –space (indoor) vapor inhalation	Inhalación de vapor en espacios cerrados (vapor interno)
Exposure Route	Ruta de Exposición
Ground water	Agua subterránea
Ingestion (potable ground water supply only)	Ingestión (suministro de agua subterránea potable solamente)
Ingestion of soil, inhalation of vapor and particulates, and dermal contact	Ingestión de suelo, inhalación de vapor y particulados, y contacto con la piel
Inhalation	Inhalación
Leaching to ground water	Lixiviación al agua subterránea
Medium	Medio
Risk-Based Screening Level (RBSL)	Nivel de selección basado en riesgos (RBSL)
Subsurface soil	Suelo subterráneo
Surficial soil	Suelo superficial

^A Obsérvese que todos los valores de RBSL deben ser comparados con límites de partición termodinámica, tales como los niveles de solubilidad, concentraciones máximas de vapor, etc. Si un RBSL excede el límite de partición correspondiente, esto indica que el nivel de peligro o riesgo seleccionado nunca se alcanzará o excederá para esa sustancia química y el escenario de exposición seleccionado.

^B Los niveles de evaluación para estos medios que se basan en otras consideraciones (por ejemplo, estéticas, niveles de fondo, protección de recursos del medio ambiente, etc.) pueden derivarse con estas ecuaciones, sustituyendo el nivel objetivo seleccionado por el $RBSL_{air}$ o $RBSL_w$ que aparece en estas ecuaciones.

^C Estas ecuaciones se basan en la Ref (26)

^D Estas ecuaciones definen, simplemente, los “factores de partición de medios cruzados”, VF_{ii} y LF_{sw}

TABLA X2.4 Parámetros de exposición que aparecen en las Tablas X2.2 y X2.3

Parámetros	Definiciones, Unidades	Residencial	Comercial/ Industrial
AT_c	Tiempo promedio para carcinógenos, en años	70 años	70 años ^A
AT_n	Tiempo promedio para no-carcinógenos, en años	30 años	25 años ^A
BW	Peso corporal adultos, en Kg.	70 kg	70 kg ^A
ED	Duración de la exposición, en años	30 años	25 años ^A
EF	Frecuencia de la exposición, días/años	350 días/año	250 días/año ^A
IR_{soil}	Tasa de ingestión de suelo, mg/día	100 mg/día	50 mg/día ^A
$IR_{air-indoor}$	Tasa de inhalación diaria de aire interno, m ³ /día	15 m ³ /día	20 m ³ /año ^A
$IR_{air-outdoor}$	Tasa de inhalación diaria de aire externo, m ³ /día	20 m ³ /día	20 m ³ /año ^A
IR_w	Tasa de ingestión diaria de agua, L/día	2 L/día	1 L/día ^A
LF_{sw}	Factor de lixiviación (mg/L-H ₂ O)/(mg/kg-suelo) – ver Tabla X2.5	específico de la sustancia química	específico de la sustancia química
M	Factor de adherencia del suelo a la piel, mg/cm ²	0,5	0,5 ^B
RAF_d	Factor de absorción relativa de la piel, comp. volátiles/PAH	0,5/0,05	0,5/0,05 ^B
RAF_o	Factor de absorción oral relativa	1,0	1,0
$RBSL_i$	Nivel de selección basado en riesgos para medios i, mg/kg-suelo, mg/L- H ₂ O, o μ g/m ³ -aire	Específico de la sustancia química, la ruta de exposición y el medio	Específico de la sustancia química, la ruta de exposición y el medio
RfD_i	Dosis crónica de referencia de la inhalación, mg/kg-día	Específico de la sustancia química	Específico de la sustancia química
RfD_c	Dosis crónica oral de referencia, mg/kg-día	Específico de la sustancia química	Específico de la sustancia química
SA	Área de superficie de la piel, cm ² /día	3160	3160 ^A
SF_i	Factor de pendiente de cáncer en la inhalación (mg/kg-día) ⁻¹	Específico de la sustancia química	Específico de la sustancia química
SF_o	Factor de pendiente de cáncer por vía oral (mg/kg-día) ⁻¹	Específico de la sustancia química	Específico de la sustancia química
THQ	Coefficiente de peligro objetivo para componentes individuales, sin unidades	1,0	1,0
TR	Riesgo excesivo objetivo individual de cáncer durante el transcurso de la vida, sin unidades	por ejemplo, 10 ⁻⁶ o 10 ⁻⁴	por ejemplo, 10 ⁻⁶ o 10 ⁻⁴
VF_i	Factor de volatilización (mg/m ³ -aire)/(mg/kg-suelo) o (mg/m ³ -aire)/(mg/L-H ₂ O) – consultar la Tabla 2.5	específico de la sustancia química y del medio	específico de la sustancia química y del medio

^A Ver Ref (27)

^B Ver Ref (28)

X2.5 Agua subterránea – Inhalación de Vapores en Espacios Cerrados (Vapores Internos):

X2.5.1 En este caso, la toma de sustancias químicas proviene de la inhalación de vapores en espacios cerrados. Los vapores de las sustancias químicas provienen de hidrocarburos disueltos del agua subterránea ubicada a cierta distancia por debajo de la superficie del terreno. En este caso, el objetivo consiste en determinar el RBSL para los hidrocarburos disueltos que corresponden al RBSL objetivo para vapores en la zona apta para la respiración, que indican las Tablas X2.2 y X2.3. Si la concentración objetivo de vapor que se ha seleccionado corresponde a un valor diferente del RBSL para inhalación (es decir, umbral de olor o criterio ecológico), se podrá sustituir este valor por el parámetro $RBSL_{air}$, que aparece en las ecuaciones que se exhiben en las Tablas X2.2 y X2.3.

X2.5.2. La Fig. X2.1 describe un modelo conceptual de transporte de sustancias químicas desde el agua subterránea al aire interno. Con el propósito de simplificar, la relación entre el aire de los espacios cerrados y las concentraciones disueltas en agua subterránea está representada en las Tablas X2.2 y X2.3 por el “factor de volatilización”, VF_{wesp} [(mg/m³-aire)/(mg/L-H₂O)], definido en la Tabla X2.5; se basa en las siguientes premisas:

X2.5.2.1 Una concentración constante de sustancias químicas disueltas en agua subterránea;

X2.5.2.2 Partición del equilibrio lineal entre las sustancias químicas disueltas en agua subterránea y los vapores de las sustancias químicas del nivel freático;

X2.5.2.3 Difusión en fase líquida y de vapor, en estado estacionario, a través de la franja capilar, la zona vadosa y las grietas de los cimientos;

X2.5.2.4 Ausencia de pérdida de sustancias químicas al difundirse hacia la superficie del terreno (es decir, inexistencia de biodegradación), y

X2.5.2.5 Dispersión atmosférica, estable y bien mezclada, de los vapores que emanan dentro de los espacios cerrados, en la cual el transporte convectivo hacia el edificio a través de las grietas o aberturas de los cimientos de los cimientos es insignificante, en comparación con el transporte difusivo.

X2.5.3 Si el $RBSL_w$ calculado excede la solubilidad del componente puro de cualquier componente individual, se registrará “>S” en la Tabla, para indicar que no es posible alcanzar o exceder el nivel de riesgo o coeficiente de peligro seleccionados para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica.

X2.6 Suelos Superficiales – Ingestión, Contacto con la Piel e Inhalación de Vapor y Particulados:

X2.6.1 En este caso, se asume que la toma de sustancias químicas proviene de una combinación de vías que abarcan: ingestión, absorción dérmica e inhalación de tanto particulados como vapores que emanan del suelo superficial.

X2.6.2 Las ecuaciones utilizadas para calcular la toma por ingestión siguen las pautas de Ref. (26) para la ingestión de sustancias químicas en suelo. Para esta ruta, se ha asumido que las concentraciones químicas del suelo superficial y las proporciones de toma permanecen constantes durante el transcurso de la exposición.

X2.6.3 Las ecuaciones utilizadas para calcular la toma por absorción dérmica siguen las pautas de Ref (26) para el contacto de la piel con sustancias químicas en suelo. Para esta ruta, se ha asumido que las concentraciones químicas del suelo superficial y las proporciones de absorción permanecen constantes durante el transcurso de la exposición.

X2.6.4 Las ecuaciones utilizadas para determinar la toma por inhalación de particulados siguen las pautas de Ref (26) para la inhalación de sustancias químicas que se encuentran en el aire. Para esta ruta, se ha asumido que las concentraciones químicas del suelo superficial, las tasas de ingestión y las concentraciones de particulados atmosféricos permanecen constantes durante el transcurso de la exposición.

X2.6.5 Las ecuaciones utilizadas para calcular la toma por medio de la inhalación de sustancias químicas que se encuentran en el aire y que resultan de la volatilización de sustancias químicas provenientes de suelos superficiales, siguen las pautas de Ref (26) para la inhalación de sustancias químicas que se encuentran en el aire.

X2.6.6 La Fig. X2.3 describe un modelo conceptual para la volatilización de sustancias químicas desde suelos superficiales hacia el aire de circulación externa. Con el propósito de simplificar, la relación entre el aire de circulación externa y las concentraciones en suelo superficial está representada, en las Tablas X2.2 y X2.3, por el “factor de volatilización” VF_{ss} [(mg/m³-aire)/(mg/kg-suelo)], definido en la Tabla X2.5. Se basa en las siguientes premisas:

X2.6.6.1 Sustancia química distribuida de manera uniforme a través de la profundidad 0— d (cm.) por debajo de la superficie del terreno;

X2.6.6.2 Partición del equilibrio lineal, dentro de la matriz del suelo, entre las fases sorbida, disuelta y de vapor, donde la partición es una función de parámetros específicos y constantes de las sustancias químicas y del suelo;

X2.6.6.3 Difusión a través de la zona vadosa;

X2.6.6.4 Ausencia de pérdida de sustancias químicas al difundirse hacia la superficie del terreno (es decir, inexistencia de biodegradación), y

X2.6.6.5 Dispersión atmosférica, estable y bien mezclada, de los vapores que emanan dentro de la zona apta para la respiración, como lo caracteriza un “modelo de box” de dispersión del aire.

X2.6.7 En caso de que el flujo, promediado en tiempo, exceda al que existiera si cualquier sustancia química inicialmente presente en la zona de suelo superficial se volatilizara durante el período de exposición, el factor de volatilización se determina a partir de un equilibrio de masa, asumiendo que todo químico inicialmente presente en la zona de suelo superficial se volatiliza durante el período de exposición.

X2.7 Suelos Subterráneos – Inhalación de Vapores Externos:

X2.7.1 En este caso, se asume que la toma de sustancias químicas tiene origen en la inhalación de vapores de circulación externa que provienen de hidrocarburos existentes en los suelos subterráneos ubicados a cierta distancia por debajo de la superficie terrestre. En este caso, el objetivo consiste en determinar el RBSL para suelos subterráneos, que se corresponda con el RBSL objetivo para vapores de circulación externa en la zona apta para la respiración, que indica la Tabla X2.1. Si la concentración de vapor objetivo que se ha seleccionado corresponde a un valor diferente del RBSL por inhalación (es decir, umbral de olor o criterio ecológico), se podrá sustituir este valor por el parámetro $RBSL_{air}$ que aparece en las ecuaciones incluidas en las Tablas X2.2 y X2.3.

X2.7.2 La Fig. X2.4 describe un modelo conceptual de transporte de sustancias químicas desde los suelos subterráneos hacia el aire ambiental. Con el propósito de simplificar, la relación entre el aire externo y las concentraciones en suelo está representada en las Tablas X2.2 y X2.3 por el “factor de volatilización”, VF_{samb} [(mg/m³-aire)/mg/kg-suelo)], a su vez definido en la Tabla X2.5. Se basa en las siguientes premisas:

X2.7.2.1 Una concentración constante de sustancias químicas en los suelos subterráneos;

X2.7.2.2 Partición del equilibrio lineal dentro de la matriz del suelo entre las fases sorbida, disuelta y de vapor, donde la partición es una función de parámetros constantes y específicos de sustancias químicas y del suelo;

X2.7.2.3 Difusión en fase líquida y de vapor, en estado estacionario, a través de la zona vadosa hacia la superficie del terreno;

X2.7.2.4 Ausencia de pérdida de sustancias químicas al difundirse hacia la superficie del terreno (es decir, inexistencia de biodegradación), y

X2.7.2.5 Dispersión atmosférica, estable y bien mezclada, de los vapores que emanan dentro de la zona apta para la respiración, como lo caracteriza un “modelo de box” de dispersión del aire.

X2.7.3 Si el $RBSL_s$ calculado excede el valor por el cual se han saturado las fases poro-agua de vapor y disuelta, que se encuentran en equilibrio, C_s^{sat} [mg/kg-suelo] (consultar Tabla X2.5 para el cálculo de este valor), se registrará “RES” en la Tabla para indicar que no es posible alcanzar o exceder el nivel de riesgo o el coeficiente de peligro seleccionados para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica (aún si el precipitado o el producto, ambos en fase libre, están presentes en el suelo).

[Insertar la Tabla X2.5 y, a continuación, la Tabla X2.6 y la Tabla X2.7]

TABLA X2.5 Factores de Volatilización (VF_I), Factor de Lixiviación (LF_{sw}), y Coeficientes de Difusión Efectiva (D^{eff}),

Inglés	Español
Air	Aire
Ambient air	Aire ambiental
Ambient (outdoor) vapor	Vapor ambiental (externo)
Cross-Media Route (or Definition)	Ruta de Medios Cruzados (o Definición)
Effective diffusion coefficient in soil based on vapor-phase concentration	Coeficiente de difusión efectiva en suelo, basado en la concentración en fase de vapor
Effective diffusion coefficient through foundation cracks	Coeficiente de difusión efectiva a través de grietas de los cimientos
Effective diffusion coefficient through capillary fringe	Coeficiente de difusión efectiva a través de la franja capilar
Effective diffusion coefficient between ground water and soil surface	Coeficiente de difusión efectiva entre el agua subterránea y la superficie del suelo
Enclosed-space vapors	Vapores de espacios cerrados
Equation	Ecuación
Ground water	Agua subterránea
Particulates	Particulados
Soil concentration at which dissolved pore-water and vapor phases become saturated	Concentración del suelo en la cual se saturan las fases disueltas poro-agua y de vapor
Surficial soils	Suelos superficiales
Symbol	Símbolo

^A Ver Ref (29)

^B Ver Ref (30)

^C Ver Ref (31)

^D Basada en equilibrio de masa

^E Ver Ref (32)

^F Ver Ref (33)

TABLA X2.6 Parámetros de suelo, edificaciones, superficie y subsuelo utilizados para generar el ejemplo de RBSL correspondientes al Nivel 1

Parámetros	Definiciones, Unidades	Residencial	Comercial/ Industrial
d	Profundidad inferior de la zona de suelo superficial, en cm	100 cm	100 cm
D^{air}	Coefficiente de difusión en aire, en cm^2/s	específico de la sustancia química	específico de la sustancia química
D^{wat}	Coefficiente de difusión en agua, en cm^2/s	específico de la sustancia química	específico de la sustancia química
ER	Tasa de intercambio del aire interno, 1/seg	$0,00014 \text{ s}^{-1}$	$0,00023 \text{ s}^{-1}$
f_{oc}	Fracción de carbón orgánico en suelo, g-C/g-suelo	0,01	0,01
H	Constante de la ley de Henry ($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/(\text{cm}^3\text{-aire})$)	específico de la sustancia química	específico de la sustancia química
h_{cap}	Espesor de la franja capilar, en cm	5 cm	5 cm
h_v	Espesor de la zona vadosa, en cm	295 cm	295 cm
I	Tasa de infiltración del agua a través del suelo, en cm/años	30 cm/año	30 cm/año
k_{oc}	Coefficiente de sorción carbón-agua, en $\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{g-C}$	específico de la sustancia química	específico de la sustancia química
k_s	Coefficiente de sorción suelo-agua, $\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{g-suelo}$	$f_{oc} \times k_{oc}$	$f_{oc} \times k_{oc}$
L_B	Relación entre el volumen en espacios cerrados /área de infiltración, en cm	200 cm	300 cm
L_{crack}	Espesor de paredes o cimientos de espacios cerrados, en cm	15 cm	15 cm
L_{GW}	Profundidad al agua subterránea = $h_{cap}+h_v$, en cm	300 cm	300 cm
L_S	Profundidad a las fuentes del suelo subterráneo, en cm	100 cm	100 cm
Pe	Tasa de emisión de particulado, en $\text{g}/\text{cm}^2\text{-s}$	$6,9 \times 10^{-14}$	$6,9 \times 10^{-14}$
S	Solubilidad del componente puro en agua, $\text{mg}/\text{L- H}_2\text{O}$	Específico de la sustancia química	Específico de la sustancia química
U_{air}	Velocidad del viento por encima de la superficie terrestre en zona de mezcla ambiental, en cm/s	225 cm/s	225 cm/s
U_{gw}	Velocidad Darcy del agua subterránea, $\text{cm}/\text{año}$	2500 $\text{cm}/\text{año}$	2500 $\text{cm}/\text{año}$
W	Ancho del área de la fuente paralela al viento, o dirección del flujo de agua subterránea, cm	1500 cm	1500 cm
δ_{air}	Altura de la zona de mezcla de aire ambiental, en cm	200 cm	200 cm
δ_{gw}	Espesor de la zona de mezcla de agua subterránea, cm	200 cm	200 cm
η	Fracción del área de grietas de los cimientos/paredes, $\text{cm}^2\text{-grietas}/\text{cm}^2\text{-área total}$	$0,01 \text{ cm}^2\text{-grietas}/\text{cm}^2\text{-área total}$	$0,01 \text{ cm}^2\text{-grietas}/\text{cm}^2\text{-área total}$
θ_{acap}	Contenido volumétrico de aire en los suelos de la franja capilar, $\text{cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,038 \text{ cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,038 \text{ cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{-suelo}$
θ_{acrack}	Contenido volumétrico de aire en grietas de los cimientos/ paredes, $\text{cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{ volumen total}$	$0,26 \text{ cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{ volumen total}$	$0,26 \text{ cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{ volumen total}$
θ_{as}	Contenido volumétrico de aire en los suelos de la zona vadosa, $\text{cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,26 \text{ cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{ suelo}$	$0,26 \text{ cm}^3\text{-aire}/\text{cm}^3\text{ suelo}$
θ_T	Porosidad del suelo total, $\text{cm}^3/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3\text{-suelo}$
θ_{wcap}	Contenido volumétrico de agua en los suelos de la franja capilar, $\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,342 \text{ cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-suelo}$	$0,342 \text{ cm}^3\text{-H}_2\text{O}/\text{cm}^3\text{-suelo}$

 E 1739

θ_{wcrack}	Contenido volumétrico de agua en grietas de los cimientos/ paredes, $\text{cm}^3 - \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ volumen total	$0,12 \text{ cm}^3 - \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ - volumen total	$0,12 \text{ cm}^3 - \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ - volumen total
θ_{ws}	Contenido volumétrico de agua en los suelos de la zona vadosa, $\text{cm}^3 - \text{H}_2\text{O} / \text{cm}^3$ -suelo	$0,12 \text{ cm}^3 - \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ -suelo	$0,12 \text{ cm}^3 - \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ -suelo
ρ_s	Densidad volumétrica del suelo, g-suelo/ cm^3 -suelo	$1,7 \text{ g}/\text{cm}^3$	$1,7 \text{ g}/\text{cm}^3$
T	Tiempo promedio para el flujo de vapor, s	$9,46 \times 10^8 \text{ s}$	$7,88 \times 10^8 \text{ s}$

TABLA X2.7 Propiedades específicas de las sustancias químicas utilizadas en el ejemplo de derivación de RBSL correspondientes al Nivel 1

Inglés	Español
Benzene	Benceno
Benzo(a)pyrene	Benzo(a)pireno
CAS Number	Número de CAS
Chemical	Sustancia química
Ethyl benzene	Etilbenceno
Mixed Xylenes	Xilenos mezclados
Naphtalene	Naftaleno
Toluene	Tolueno

^A Ver Ref (34)

^B El coeficiente de difusión se calculó utilizando el método de Fuller, Schettler y Giddings, a partir de la Ref (11)

^C Ver Ref (7)

^D Ver Ref (35)

^E Calculado a partir de la correlación de K_{ow}/K_{oc} : $\log(K_{oc}) = 0,937 \log(K_{ow}) - 0,006$, a partir de la Ref. (11).

^F Ver Ref (2)

^F Ver Ref (3)

X2.8 Suelos Subterráneos – Inhalación de Vapores en Espacios Cerrados (Vapores Internos):

X2.8.1 En este caso, la toma de sustancias químicas resulta de la inhalación de vapores en espacios cerrados que provienen de hidrocarburos existentes en los suelos subterráneos ubicados a cierta distancia por debajo de la superficie terrestre. En este caso, el objetivo consiste en determinar el RBSL para suelos subterráneos que corresponde al RBSL objetivo para vapores de circulación interna, que indican las Tablas X2.2 y X2.3. Si la concentración de vapor objetivo que se ha seleccionado corresponde a un valor diferente del RBSL para inhalación (es decir, umbral de olor o criterio ecológico), se podrá sustituir este valor por el parámetro $RBSL_{air}$ que aparece en las ecuaciones incluidas en las Tablas X2.2 y X2.3.

X2.8.2 La Fig. X2.5 describe un modelo conceptual de transporte de sustancias químicas desde suelos subterráneos hacia espacios cerrados. Con el propósito de simplificar, la relación entre el aire interno y las concentraciones de suelo está representada en las Tablas X2.2 y X2.3 por el “factor de volatilización”, VF_{sest} [(mg/m³-aire)/(kg-suelo)], definido en la Tabla X2.5. Se basa en las siguientes premisas:

X2.8.2.1 Una concentración constante de sustancias químicas en los suelos subterráneos;

X2.8.2.2 Partición del equilibrio lineal, dentro de la matriz del suelo, entre las fases sorbida, disuelta y de vapor, donde la partición es una función de parámetros constantes y específicos del suelo y de sustancias químicas, y;

X2.8.2.3 Difusión en fase líquida y de vapor, en estado estacionario, a través de la zona vadosa y las grietas de los cementos;

X2.8.2.4 Ausencia de pérdida de sustancias químicas al difundirse hacia la superficie del terreno (es decir, inexistencia de biodegradación), y

X2.8.2.5 Dispersión atmosférica, bien mezclada, de los vapores que emanan dentro del espacio cerrado.

X2.8.3. Si el $RBSL_s$ calculado excede el valor C_s^{sat} [mg/kg-suelo] por el cual se han saturado las fases poro-agua de vapor y disuelta, que se encuentran en equilibrio, (ver Tabla X2.5 para el cálculo de este valor), se registrará “RES” en la Tabla para indicar que no es posible alcanzar o exceder el nivel de riesgo o coeficiente de peligro seleccionados para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica (aún si el precipitado o el producto en fase libre están presentes en el suelo).

[Insertar las FigX2.1, X2.2 y X2.3 en una página, y en la siguiente, las Fig X2.4, X2.5 y X2.6]

FIG. X2.1 Volatilización desde el agua subterránea al aire ambiental

Inglés	Español
Breathing zone	Zona apta para la respiración
Diffusing vapors	Vapores en difusión
Dissolved contaminants	Agentes contaminantes disueltos
Groundwater	Agua subterránea
Vadose Zone	Zona vadosa

FIG. X2.2 Volatilización desde el agua subterránea al aire que circula en espacios cerrados

Inglés	Español
Air exchange	Intercambio de aire
Capillary zone	Zona capilar
Crack	Grieta
Diffusing vapors	Vapores en difusión
Dissolved contaminants	Agentes contaminantes disueltos
Enclosed space	Espacio cerrado
Foundation cracks	Grietas de los cimientos
Groundwater	Agua subterránea
Vadose Zone	Zona vadosa

FIG. X2.3 Volatilización desde suelos superficiales

Inglés	Español
Air	Aire
Breathing zone	Zona apta para la respiración
Depletion zone	Zona de agotamiento
Diffusing vapors	Vapores en difusión
Petroleum-impacted surficial soils	Suelos superficiales impactados por la presencia de petróleo

FIG. X2.4 Volatilización desde suelos subterráneos al aire ambiental

Inglés	Español
Air	Aire
Breathing zone	Zona apta para la respiración
Diffusing vapors	Vapores en difusión
Subsurface impacted soils	Suelos subterráneos impactados
Vadose Zone	Zona Vadosa

FIG. X2.5 Volatilización desde suelos subterráneos al aire que circula en espacios cerrados

Inglés	Español
Air exchange	Intercambio de aire
Crack	Grieta
Diffusing vapors	Vapores en difusión
Enclosed space	Espacio cerrado
Foundation cracks	Grietas de los Cimientos
Subsurface impacted soils	Suelos subterráneos impactados
Vadose Zone	Zona vadosa

FIG. X2.6 Lixiviación desde suelos subterráneos al agua subterránea

Inglés	Español
Dissolved contaminants	Agentes contaminantes disueltos
Groundwater flow	Flujo de agua subterránea
Infiltrating water	Agua de infiltración
Leachate	Lixiviado
Mixing Zone	Zona de mezclado
Subsurface impacted soils	Suelos subterráneos impactados
Vadose Zone	Zona vadosa

X2.9 Suelos Subterráneos – Lixiviación al agua subterránea:

X2.9.1 En este caso, la toma de sustancias químicas deriva de su lixiviación desde los suelos subterráneos, seguida por la inhalación de vapores pertenecientes a espacios cerrados, inhalación de vapores de circulación externa, o ingestión de agua subterránea, como se analiza en los puntos X2.1-X2.3. En este caso, el objetivo consiste en determinar el RBSL para suelos subterráneos, que corresponde al RBSL objetivo para las rutas de inhalación o ingestión. Si la concentración objetivo de agua subterránea que se ha seleccionado corresponde a un valor diferente del RBSL para agua subterránea (es decir, umbral de olor o criterio ecológico), se podrá sustituir este valor por el parámetro RBSL_w que aparece en las ecuaciones incluidas en las Tablas X2.2 y X2.3.

X2.9.2 La Fig. X2.6 describe un modelo conceptual para la lixiviación de sustancias químicas desde suelos subterráneos hacia el agua subterránea. Con el propósito de simplificar, la relación entre las concentraciones de suelo y agua subterránea está representada en las Tablas X2.2 y X2.3 por el “factor de lixiviación”, LF_{sw} [(mg/L-H₂O)/(mg/kg-suelo)], definido en la Tabla X2.5. Se basa en las siguientes premisas:

X2.9.2.1 Una concentración constante de sustancias químicas en los suelos subterráneos;

X2.9.2.2 Partición del equilibrio lineal, dentro de la matriz del suelo, entre las fases sorbida, disuelta y de vapor, donde la partición es una función de parámetros constantes y específicos de sustancias químicas y del suelo;

X2.9.2.3 Lixiviación en estado estacionario desde la zona vadosa hacia el agua subterránea, que resulta de la proporción constante 1 de lixiviación [cm/s].

X2.9.2.4 Ausencia de pérdida de sustancias químicas al lixiviar hacia el agua subterránea (es decir, inexistencia de biodegradación), y

X2.9.2.5 Dispersión atmosférica del lixiviado, estable y bien mezclada, dentro de una “zona de mezcla” de agua subterránea.

X2.9.3. Si el $RBSL_s$ calculado excede el valor C_s^{sat} por el cual se han saturado las fases poro-agua de vapor y disuelta, que se encuentran en equilibrio, (consultar la Tabla X2.5 para el cálculo de este valor), se registrará “RES” en la Tabla para indicar que no es posible alcanzar o exceder el nivel de riesgo o coeficiente de peligro seleccionados para ese compuesto y para el escenario de exposición que se especifica (aún si el precipitado o el producto en fase libre está presente en el suelo).

X2.9.4 En la actualidad, algunos programas de reglamentación están proponiendo “factores de atenuación de dilución” [“*dilution attenuation factors*” (DAF)], que se basan en resultados de modelado de transporte y destino. Se define comúnmente como DAF a la proporción de una concentración objetivo de agua subterránea dividida por la concentración de lixiviado de la fuente y es, por naturaleza, muy similar al factor de lixiviado, LF_{sw} , analizado en el presente documento. La diferencia entre estos dos términos consiste en que el LF_{sw} representa la proporción de la concentración objetivo de agua subterránea dividida por la concentración de suelo del área de la fuente. Si un programa de reglamentación ya tiene un valor DAF justificable, dicho valor puede ser igualado a un factor de lixiviado mediante la siguiente fórmula:

$$LF_{sw} = \frac{DAF [m]PS \rho_s}{[\theta_{wt} + k_s \rho_s + H\theta_{at}]} [m]PS 10^0$$

(X2.3),

cuyos parámetros se encuentran definidos en el Cuadro X2.6.

X2.10 Valores de los Parámetros:

X2.10.1 La Tabla X2.4 ofrece una lista de parámetros de exposición utilizados para calcular los RBSL que aparecen en la Tabla de consulta X2.1. Todos los valores que se consignan se basan sólo en exposiciones para adultos. A excepción de los parámetros de exposición dérmica (SA, M y RAF_d), los valores que se incluyen corresponden a valores de exposición máxima razonable [reasonable maximum exposure – RME] presentados en la Ref (27), y se consideran estimados máximos para cada parámetro de exposición individual.

X2.10.2 El área de superficie de la piel, SA = 3160 cm²/día, se basa en el área de superficie promedio de la cabeza, manos y antebrazos de adultos masculinos señalados por la Ref. (27). El factor de adherencia suelo-a-piel, M [mg/cm²], y el factor de absorción relativa de la piel RAF_d[mg-absorbidos/mg-aplicados], se basan en las pautas indicadas en la Ref (28).

X2.10.3 Las propiedades del suelo se basan en valores característicos de suelos arenosos y coinciden con los valores asignados en la Ref (30).

X2.10.4 Las dimensiones físicas guardan coherencia con la escala de las típicas fugas subterráneas de tanques de combustible.

X2.10.5 Los valores de la emisión de particulados fueron calculados de acuerdo con el concepto que propone Cowherd, et al (32). Se asumió que el modo de la distribución del tamaño del suelo superficial era de 2 mm, el potencial de erosión, ilimitado, no existía cobertura vegetativa, y la velocidad media del viento promedio era 4 m/s.

X2.10.6 Los parámetros específicos de las sustancias químicas que se utilizaron están definidos en la Tabla X2.7.

X2.10.7 En este análisis, los suelos superficiales se definen como aquellos que se encuentran presentes dentro de una superficie de terreno de 1 m. Los RBSL de suelo subterráneo se basan en profundidades de la fuente cuya extensión se asume en 1 m. Se supone que el agua subterránea está ubicada a 3 metros por debajo de la superficie del terreno.

X2.10.8 Se recuerda al lector, nuevamente, que los valores de los parámetros (y los RSBL correspondientes) se presentan exclusivamente a manera de ejemplos y no deberán utilizarse como un patrón. En el mejor de los casos, los parámetros que se incluyen representan valores razonables que se basan en datos actuales y criterios profesionales. El lector deberá revisar y verificar todas las premisas antes de utilizar cualquiera de los RBSL como valores de nivel de selección.

X3. USO DEL MODELADO DE PREDICCIÓN EN EL PROCESO DE ACCIÓN CORRECTIVA, BASADO EN RIESGOS [RISK-BASED CORRECTIVE ACTION (RBCA)]

X3.1 Alcance:

X3.1.1 El modelado de predicción es una herramienta valiosa que puede brindar información en el proceso de manejo del riesgo. En una RBCA, se utiliza el modelado para predecir la concentración y ubicación de los agentes contaminantes, además de interpretar, o extrapolar, datos de caracterización del sitio, registros históricos de monitoreo e información toxicológica. Además, se puede utilizar el modelado de predicción en la evaluación de métodos alternativos de corrección, así como también, para evaluar los objetivos de cumplimiento planes de monitoreo. Este apéndice analiza lo siguiente:

X3.1.1.1 Importancia y utilización del modelado de predicción en el proceso de RBCA;

X3.1.1.2 Interpretación de los resultados del modelado de predicción;

X3.1.1.3 Procedimientos de aplicación en los modelos de predicción de migración;

X3.1.1.4 Procedimientos para la evaluación de exposición, riesgos y relación dosis-respuesta;

X3.1.2 Este apéndice no es exhaustivo. Cada modelo de predicción es único y puede requerir procedimientos adicionales para su desarrollo y aplicación. Todo análisis adicional deberá ser documentado en el proceso de la RBCA.

X3.2 Documentos de Referencia:

X3.2.1 Normas de la ASTM:

D 653 Terminología sobre Suelo, Rocas y Fluidos Contenidos [*Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids*]⁷

D 5447 Guía para la Aplicación de un modelo de flujo de agua subterránea sobre un problema específico de un sitio [*Guide for Application of a Ground-Water Flow Model to a Site-Specific Problem*]⁸

D 5490 Guía para efectuar la comparación de simulaciones del modelo de flujo de agua subterránea con la información específica de un sitio [*Guide for Comparing Ground-Water Flow Model Simulations to Site-Specific Information*]⁸

E 943 Terminología referida a efectos biológicos y destino ambiental [*Terminology Relating to Biological Effects and Environmental Fate*]⁹

⁷ Anuario de Normas de la ASTM, Volumen 04.08.

⁸ Anuario de Normas de la ASTM, Volumen 04.09

⁹ Anuario de Normas de la ASTM, Volumen 11.04

E 978 Práctica para la Evaluación de modelos ambientales de destino de sustancias químicas [*Practice for Evaluating Environmental Fate Models of Chemicals*]⁹

D 5609 Guía para definir las condiciones límite en el modelado de flujo de agua subterránea [*Guide for Defining Boundary Conditions in Ground-Water Flow Modeling*]⁸

D 5610 Guía para definir las condiciones iniciales en el modelado de flujo de agua subterránea [*Guide for Defining Initial Conditions in Ground-Water Flow Modeling*]⁸

D 5611 Guía para llevar a cabo un análisis de sensibilidad para la aplicación de un modelo de flujo de agua subterránea [*Guide for Conducting a Sensitivity Analysis for a Ground-Water Flow Model Application*]⁸

X3.3 Terminología:

X3.3.1 *Definiciones* – Para las definiciones de los términos utilizados en este apéndice, referirse a la Terminología de D 653 y E 943.

X3.3.2 *Descripciones de términos específicos de este apéndice:*

X3.3.2.1 *modelo analítico* – modelo que utiliza soluciones matemáticas para ecuaciones predominantes que son continuas en espacio y tiempo y que se aplican al proceso de flujo y transporte.

X3.3.2.2 *verificación de la aplicación* – a través de la utilización del conjunto de valores de parámetros y las condiciones límite a partir de un modelo calibrado, para aproximarse, de manera aceptable, a un segundo conjunto de datos de campo, medidos en condiciones similares.

ANÁLISIS – Se debe diferenciar entre verificación de la aplicación y verificación de códigos, la cual se refiere a la comprobación del software, la comparación con soluciones analíticas y la comparación con otros códigos similares destinados a demostrar que el código representa su base matemática.

X3.3.2.3 *condición límite* – expresión matemática de un estado del sistema físico que restringe las ecuaciones del modelo matemático.

X3.3.2.4 *calibración (aplicación del modelo)* – el proceso de perfeccionar la representación del modelo de propiedades y condiciones límite de los fluidos y de los medios, para lograr un nivel deseado de correspondencia entre la simulación del modelo y las observaciones de un sistema real.

X3.3.2.5 *validación de códigos* -- proceso para determinar el grado de exactitud con el cual la base teórica y la implementación computarizada del código de modelado describen el comportamiento real del sistema, en términos del “grado de correlación” entre las respuestas de “causa y efecto” del sistema de flujo de fluido prototipo, calculadas y observadas de manera independiente, (por ejemplo, sitio de investigación o experimento de laboratorio), para el cual se ha desarrollado el código.

X3.3.2.6 *verificación de códigos* – procedimiento destinado a establecer la integridad, coherencia y precisión del software de modelado con respecto a sus criterios de diseño, por medio de la evaluación de la funcionalidad y las características operativas del código y la verificación de algoritmos incorporados y las transferencias de datos a través de la ejecución de problemas, para lo cual se dispone de estudios comparativos independientes.

X3.3.2.7 *códigos de computación (programas de computación)* – conjunto de técnicas numéricas, registros y lenguaje de control que representa el modelo, desde la aceptación de instrucciones y datos de ingreso hasta la entrega de la información de salida.

X3.3.2.8 *modelo conceptual* – interpretación o descripción funcional de las características y la dinámica del sistema físico.

X3.3.2.9 *modelo de flujo de agua subterránea* – aplicación de un modelo matemático a fin de representar un sistema de flujo de agua subterránea específico de un sitio.

X3.3.2.10 *modelo matemático* – ecuaciones matemáticas que expresan el sistema físico y que incluyen premisas simplificadoras. Representación de un sistema físico a través de expresiones matemáticas, a partir de las cuales es posible deducir, con precisión conocida, el comportamiento del sistema.

X3.3.2.11 *modelo de migración* – aplicación de un modelo matemático para representar un sistema de flujo de fluido, específico de un sitio.

X3.3.2.12 *modelo* – conjunto de conceptos en forma de ecuaciones matemáticas, que posibilitan la comprensión de un fenómeno natural.

X3.3.2.13 *sensibilidad (aplicación de un modelo)* – grado al cual el resultado del modelo se ve afectado por cambios a causa del ingreso de un modelo seleccionado que representa propiedades y condiciones límite de fluidos y medios.

X3.3.2.14 *simulación* – en modelado de migración, ejecución completa de un programa de computación de modelado de flujo de fluidos, que incluye incorporación de datos e información de salida.

ANÁLISIS – en el contexto de este apéndice, una simulación se refiere a una ejecución de modelado individual. No obstante, a veces se utiliza el término “simulación” para referirse, de manera amplia, al proceso de modelado en general.

X3.4 *Importancia y Uso:*

X3.4.1 El modelado de predicción es importante en muchas fases de la RBCA, incluso en los siguientes casos:

X3.4.1.1 Cuando se determina la urgencia potencial de la respuesta, sobre la base de las proporciones estimadas de atenuación y migración correspondientes a los compuestos de interés;

X3.4.1.2 Cuando se debe determinar el alcance de una acción correctiva según las proporciones estimadas de atenuación y migración de los compuestos de interés;

X3.4.1.3 Cuando se establecen relaciones entre las dosis administradas y los impactos nocivos sobre receptores humanos y receptores sensibles del medio ambiente; y

X3.4.1.4 Cuando se determinan concentraciones de RBSL en puntos de exposición.

X3.4.2 Los ejemplos de aplicación de modelado de predicción en el proceso de la RBCA abarcan lo siguiente:

X3.4.2.1 La predicción de distribuciones de concentración de agentes contaminantes en casos futuros, sobre la base de datos de tendencia histórica, como en el caso del modelado de transporte de agua subterránea.

X3.4.2.2 La recomendación de locaciones de muestreo y frecuencia de muestreo, basada en interpretación actual y expectativas futuras de distribuciones de agentes contaminantes, como en el caso del diseño de redes de monitoreo de agua subterránea.

X3.4.2.3 El diseño de medidas de acción correctiva, como es el caso de los sistemas de control hidráulico, y

X3.4.2.4 El cálculo de concentraciones en puntos de exposición específicos de un sitio, basado en escenarios de exposición supuestos, como en el caso de la exposición directa a suelos superficiales.

X3.4.3 El modelado de predicción no se utiliza en el proceso de RBCA como sustituto para validar datos específicos de un sitio.

X3.5 *Interpretación de los Resultados del Modelado de Predicción:*

X3.5.1 Los modelos de predicción son aproximaciones matemáticas de procesos reales, como el movimiento de sustancias químicas en el subsuelo, la ingestión de sustancias químicas existentes en el agua potable, y los impactos nocivos sobre la salud humana y los recursos del medio ambiente, que derivan de una exposición significativa. Un paso fundamental para evaluar los resultados del modelo consiste en evaluar la precisión y la incertidumbre, y verificar el modelo utilizado.

X3.5.2 La precisión de las predicciones basadas en el modelado se evalúa al utilizar un control de auditoría posterior, y depende de un número de factores que se exponen más abajo:

X3.5.2.1 Las aproximaciones utilizadas al describir el sistema real por medio de expresiones matemáticas;

X3.5.2.2 La conformación del modelo, es decir, los parámetros ingresados (por ejemplo, las condiciones límite) que se han utilizado para generar los resultados, y

X3.5.2.3 Los métodos matemáticos que se utilizaron para resolver las ecuaciones predominantes (por ejemplo, la selección, por parte del usuario, de los métodos de resolución numérica, las aproximaciones de expansión, los parámetros numéricos, y demás).

X3.5.3 Los resultados del modelado de predicción siempre se encuentran sujetos a un cierto grado de incertidumbre. Es importante cuantificar dicha incertidumbre para poder interpretar los resultados de manera adecuada. En muchas ocasiones, esto se realiza por medio de un análisis de sensibilidad, en el cual el usuario identifica los parámetros que ejercen la influencia más significativa en los resultados. Si la mayoría de la totalidad de los parámetros no produce “sensibilidad”, puede ser necesario “reevaluar” el modelo, dado que es posible que los parámetros clave no estén en él.

X3.5.4 Se puede llevar a cabo una post-auditoría para determinar la precisión de las predicciones. Si bien la verificación y la calibración del modelo demuestran que éste simula con precisión el comportamiento pasado del sistema, la post-auditoría verifica si el modelo puede predecir su comportamiento futuro. Las post-auditorías normalmente se llevan a cabo varios años después de la evaluación inicial y de la acción correctiva.

X3.5.5 En el proceso de la RBCA, el criterio “conservador” es importante en el modelado de predicción. En la evaluación inicial, se utiliza el Nivel 1, el criterio más conservador, que brinda el peor escenario de riesgo y exposición potenciales. Se utilizan los modelos que, en razón de su simplicidad, no tienen en cuenta factores que dan resultados conservadores. Los datos incorporados pueden incluir valores conservadores,

como los valores RME del EPA de EUA. Cuando se justifica un criterio más riguroso, como el Nivel 2 del proceso de la RBCA, generalmente se utilizan los resultados conservadores, pero de manera conjunta con un escenario más razonable. Este nivel requiere información más específica sobre el sitio y puede implicar el uso de modelos matemáticos simples o moderadamente complejos. Asimismo, puede incluir el uso de los escenarios de exposición más factibles (es decir, valores MLE del EPA de EUA). Esta información se utiliza para establecer objetivos conservadores de acción correctiva que todavía se consideran excesivamente protectores. En algunos sitios, se necesita una evaluación integral (Nivel 3), en la cual se determinan los SSTL a través de un modelo de transporte y exposición, específico del sitio y, en algunos casos, distribuciones de parámetros. El nivel 3 ofrece la evaluación de exposición y riesgo potenciales más realista.

X3.6 Tipos de modelos de predicción de migración y de evaluación de riesgos:

X3.6.1 Los modelos que se utilizan normalmente en el proceso de la RBCA se pueden agrupar en dos amplias categorías:

X3.6.1.1 Modelos de Migración, y

X3.6.1.2 Modelos evaluación de exposición, de riesgos, y de respuesta de la dosis.

X3.6.2 La determinación de aplicar los RBSL del Nivel 1 o los SSTL de los Niveles 2 ó 3 implica, por lo general, el uso de combinaciones de ambos tipos de modelos. Los puntos X3.7 y X3.8 brindan una descripción más detallada de cada tipo de modelo.

[Insertar la Tabla X3.1]

TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección

Inglés	Español
Absolute temperature	Temperatura absoluta
Along the centerline of a dissolved plume	A lo largo de la línea central de una pluma disuelta
Ambient hydrocarbon vapor concentration resulting from area vapor source	Concentración ambiental de vapor en hidrocarburo resultante del área de la fuente de vapor
Area of foundation through which vapors are transported (area of cracks, open seams, and so forth)	Área de los cimientos a través de la cual se transportan los vapores (áreas de grietas, aperturas, etc.)
Average molecular weight of the hydrocarbon mixture [g/mol]	Peso molecular promedio de la mezcla de hidrocarburos [g/mol]
Averaging time	Tiempo promedio
Centerline	Línea central
Concentration at which immiscible phase forms in soil	Concentración en la cual la fase miscible se forma en el suelo
Depth below water table	Profundidad por debajo del nivel freático
Description	Descripción
Dissolved concentration	Concentración disuelta
Dissolved hydrocarbon concentration along centerline of dissolved plume	Concentración de hidrocarburo disuelto a lo largo de la línea central de la pluma disuelta
Dissolved hydrocarbon concentration in dissolved plume source area	Concentración de hidrocarburo disuelto en el área de la fuente de la pluma disuelta
Dissolved Phase Transport	Transporte en Fase Disuelta
Dissolved plume	Pluma disuelta
Distance along centerline from downgradient edge of dissolved plume source zone	Distancia a lo largo de la línea central desde el borde descendente de la zona de la fuente de la pluma disuelta.
Distance below ground surface to top of hydrocarbon vapor source [cm]	Distancia por debajo de la superficie del terreno hasta la parte superior de la fuente de vapor de hidrocarburos [cm]
Distance between foundation/walls and hydrocarbon vapor source	Distancia entre los cimientos/las paredes y la fuente de vapor de hidrocarburos
Distance downgradient	distancia en pendiente aguas abajo
Downwind length of vapor emissions source area	Longitud, a favor del viento, del área de la fuente de emisiones de vapor
Effective diffusion coefficient for combined vapor and soluble transport, expressed as a vapor phase diffusion coefficient (no immiscible hydrocarbon present outside of source area)	Coefficiente de difusión efectiva para el transporte de vapor y sust. solubles combinados, expresado como coeficiente de difusión en fase de vapor (sin presencia de hidrocarburos inmiscibles fuera del área de la fuente)
Effective diffusion coefficient through foundation cracks	Coefficiente efectivo de difusión a través de las grietas de los cimientos
Effective diffusion coefficient through soil for combined vapor and solute transport, expressed as a vapor phase diffusion coefficient (no immiscible hydrocarbon present outside of source area)	Coefficiente de difusión efectiva a través del suelo para el transporte combinado de vapor y soluto, expresado como un coeficiente de difusión en fase de vapor (sin presencia de hidrocarburos inmiscibles fuera del área de la fuente)
Effective porous media diffusion coefficient D^{eff} [cm ² /día] for combined vapor and solute transport, expressed as a vapor phase diffusion coefficient (no immiscible hydrocarbon present outside of source area)	Coefficiente efectivo del medio poroso para el transporte combinado de vapor y soluto, expresado como un coeficiente de difusión en fase de vapor (sin presencia de hidrocarburos inmiscibles fuera del área de la fuente)
Enclosed space air exchange rate	Tasa de intercambio de aire en espacio cerrado
Enclosed space vapor concentration	Concentración de vapor en espacios cerrados
Equilibrium dissolved concentration in leachate source area	Concentración disuelta en equilibrio en el área de fuente de lixiviado
Equilibrium Partitioning	Partición del Equilibrio
Equilibrium vapor concentration	Concentración de vapor en equilibrio
Error function evaluated for value η	Función de error evaluada para el valor η
First-order degradation constant	Constante de degradación de primer orden
Gas constant	Constante de gas
Ground water gradient	Gradiente de agua subterránea
Ground water mixing zone thickness	Espesor de la zona de mezcla de agua subterránea
Ground water source area concentration resulting from leaching through vadose zone hydrocarbon-impacted soils	Concentración del área de la fuente de agua subterránea que resulta del lixiviado a través de suelos impactados por hidrocarburos de la zona vadosa

TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección (continuación)	
Ground water source area concentration resulting hydrocarbon-impacted soils in direct contact with ground water	Concentración del área de la fuente de agua subterránea que resulta de suelos impactados por hidrocarburos con contacto directo con el agua subterránea
Height of breathing zone	Altura de la zona apta para la respiración
Henry's Law Constant	Constante de la Ley de Henry
Hydrocarbon Vapor Dispersion	Dispersión de Vapor de Hidrocarburos
Immiscible Phase Transport	Transporte de fase inmiscible
Lateral distance away from dissolved plume centerline	Distancia lateral en dirección opuesta a la línea central de la pluma disuelta
Leachate Transport	Transporte de Lixiviado
Leaching Impact on Ground Water	Impacto de Lixiviación en el Agua Subterránea
Longitudinal dispersivity	Dispersividad longitudinal
Mathematical Approximation	Aproximación Matemática
Maximum combined convective and diffusive vapor flux from subsurface vapor source located a distance d [cm] below ground surface	Flujo máximo de vapor convectivo y difusivo combinados desde la fuente de vapor subterránea ubicada en la distancia d [cm] por debajo de la superficie del terreno
Maximum convective transport rate of vapors	Tasa máxima de transporte convectivo de vapores
Maximum convective transport rate of vapors	Tasa máxima de transporte convectivo para vapores
Maximum depth of immiscible phase penetration	Profundidad máxima de penetración de la fase inmiscible
Maximum diffusive vapor flux from subsurface vapor source located a distance d [cm] below ground surface (steady-state, constant source)	Flujo máximo de vapor difusivo desde la fuente de vapor subterránea ubicada a una distancia d [cm] por debajo de la superficie del terreno (fuente constante, en estado estacionario)
Maximum dissolved concentration in soil pores (no immiscible phase present)	Máxima concentración en poros del suelo (sin presencia de fase inmiscible)
Maximum dissolved concentration when immiscible hydrocarbon is present	Máxima concentración disuelta en presencia de un hidrocarburo inmiscible
Maximum time for leading edge of dissolved plume to travel distance	tiempo mínimo en que el borde más prominente de la pluma disuelta se desplaza en la distancia
Maximum time-averaged diffusive vapor flux from subsurface soils over period from time = 0 to time = τ , single-component immiscible phase present	Flujo máximo de vapor difusivo, promediado en tiempo, proveniente de los suelos subterráneos y por un período de tiempo desde el tiempo = 0 a tiempo = τ , con presencia de fase inmiscible de un solo componente
Maximum time-averaged diffusive vapor flux from subsurface soils over period from time = 0 to time = τ , no immiscible phase present	Flujo máximo de vapor difusivo, promediado en tiempo, proveniente de los suelos subterráneos y por un período de tiempo desde el tiempo = 0 a tiempo = τ , sin presencia de fase inmiscible
Maximum time-averaged diffusive vapor flux from subsurface soils over period from time = 0 to time = τ , volatile components from relatively nonvolatile immiscible phase (for example, benzene from gasoline)	Flujo máximo de vapor difusivo, promediado en tiempo, proveniente de los suelos subterráneos y por un período de tiempo desde el tiempo = 0 a tiempo = τ componentes volátiles de fase inmiscible relativamente no volátil (por ejemplo, benceno de la gasolina)
Maximum time-averaged diffusive vapor flux from surface soils over period from time = 0 to time = τ , single-component immiscible phase present	Flujo máximo de vapor difusivo, promediado en tiempo, proveniente de los suelos de superficie y por un período de tiempo desde el tiempo = 0 a tiempo = τ , con presencia de fase inmiscible de un solo componente
Maximum transport rate of dissolved plume	Tasa máxima de transporte de la pluma disuelta
Maximum vapor concentration above dissolved hydrocarbons	Concentración máxima de vapor por encima de hidrocarburos disueltos
Maximum vapor concentration when immiscible hydrocarbon is present	Concentración máxima de vapor en presencia de un hidrocarburo inmiscible
Maximum vapor concentrations in soil pores (no immiscible phase present)	Concentraciones máximas de vapor en poros del suelo (sin presencia de fase inmiscible)
Maximum vapor emission rate E_{\max} [g/cm ² -d] to enclosed spaces from subsurface vapor sources located a distance d [cm] away from the enclosed spaces	Tasa máxima de emisión de vapor E_{\max} [g/cm ² -d] a espacios cerrados desde las fuentes de vapor subterráneas ubicadas a una distancia d [cm] de los espacios cerrados
Minimum convective travel time of dissolved hydrocarbons to distance	Tiempo mínimo de desplazamiento convectivo de hidrocarburos disueltos, en la distancia
Minimum time for vapors to travel a distance from source area by convection	Tiempo mínimo para que los vapores se desplacen a una distancia desde el área de la fuente por convección

TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección (continuación)	
Minimum time for vapors to travel a distance L [cm] by convection [day] ^A	Tiempo mínimo para que los vapores se desplacen una distancia L [cm] por convección [día] ^A
Minimum time for vapors to travel a distance L [cm] by diffusion [day] ^A	Tiempo mínimo para que los vapores se desplacen una distancia L [cm] por difusión [día] ^A
Mol fraction of component	Fración molar de componente
Molecular weight of / [g/mol]	Peso molecular de / [g/mol]
Parameters	Parámetros
Permeability to vapor flow	Permeabilidad al flujo de vapor
Porous media "retardation" factor (no immiscible hydrocarbon present outside of source area) ^A	Factor de "retardo" del medio poroso (sin presencia de hidrocarburos inmiscibles fuera del área de la fuente) ^A
Porous media "retardation" factor (no immiscible hydrocarbon present outside of source area)	Factor de "retardo" de los medios porosos (sin presencia de hidrocarburos inmiscibles fuera del área de la fuente)
Pure component diffusion coefficient in air	Coefficiente de difusión de componente puro en el aire
Pure component diffusion coefficient in water	Coefficiente de difusión de componente puro en agua
Pure component solubility	Solubilidad del componente puro
Radial extent of hydrocarbon impact	Extensión radial del impacto de hidrocarburos
Retardation factor	Factor de retardo
Saturated hydraulic conductivity	Conductividad hidráulica saturada
Soil bulk density	Densidad de volumen del suelo
Soil concentration at which immiscible hydrocarbon phase forms in soil matrix	Concentración de suelo en la cual se forma la fase inmiscible de hidrocarburos en la matriz del suelo
Soil concentrations	Concentraciones de suelo
Sorption coefficient	Coefficiente de sorción
Source width (perpendicular to flow in the horizontal plane)	Amplitud de la fuente (perpendicular al flujo en plano horizontal)
Source width (perpendicular to flow in the vertical plane)	Amplitud de la fuente (perpendicular al flujo en plano vertical)
Specific discharge	Descarga específica
Steady-state attenuation	Atenuación en estado estacionario
Thickness of foundation/wall	Espesor del cimiento/pared
Total area of enclosed space exposed to vapor intrusion (area of foundation)	Área total de espacio cerrado expuesto a invasión de vapor (área del cimientos)
Total soil hydrocarbon concentration	Concentración total de hidrocarburos en suelo
Total volumetric content of pore space in soil matrix	Contenido volumétrico total de espacio poroso en la matriz del suelo
Transverse dispersivity	Dispersividad transversal
Vapor Concentration:	Concentración de vapor
Vapor emission rate into enclosed space	Tasa de emisión de vapor a espacios cerrados
Vapor emissions from Subsurface Vapor Sources to Open Surfaces	Emisiones de vapor desde Fuentes de Vapor Subterráneas a Superficies Abiertas
Vapor Emissions from Surface Soils to Open Spaces	Emisiones de Vapor desde Suelos de Superficie a Espacios Abiertos
Vapor Emissions to Enclosed Spaces	Emisiones de Vapor a Espacios Cerrados
Vapor flux	Flujo de vapor
Vapor phase pressure gradient	Gradiente de presión en fase de vapor
Vapor Phase Transport	Transporte de la Fase de Vapor
Vapor pressure of compound	Presión de vapor del compuesto
Vapor pressure of pure component / [atm]	Presión de vapor del componente puro / [atm]
Vapor viscosity	Viscosidad del vapor
Vertical dispersivity	Dispersividad vertical
Vertical dispersivity	Dispersividad vertical
Volume of enclosed space	Volumen del lugar cerrado
Volume of hydrocarbon released	Volumen del hidrocarburo liberado
Volumetric content of soil vapor	Contenido volumétrico de vapor en suelo
Volumetric content of soil pore water	Contenido volumétrico de agua de poro del suelo
Volumetric content of soil vapor	Contenido volumétrico de vapor en suelo
Volumetric flow rate of air within enclosed space	Tasa de flujo volumétrico del aire dentro de un espacio cerrado

TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección TABLA X3.1 Ejemplo de modelos de transporte del nivel de selección (continuación)	
Volumetric infiltration flow rate of soil gas into enclosed space	Tasa de flujo volumétrico de infiltración de gas en suelo en un espacio cerrado
Volumetric residual content of hydrocarbon under drainage conditions	Contenido volumétrico residual del hidrocarburo bajo condiciones de drenaje
Volumetric water content of saturated zone	Contenido volumétrico de agua de la zona saturada
Water infiltration rate	Tasa de infiltración de agua
Width of impacted soil zone	Amplitud de la zona de suelo impactada
Wind speed	Velocidad del viento

⁴La ecuación de este parámetro se incluye en esta tabla.

X3.7 Procedimientos para los Modelos de Predicción de Migración:

X3.7.1 Los modelos de migración (destino y transporte) predicen el movimiento de una fuga de petróleo, en el tiempo, a través del suelo, el agua subterránea o el aire, o una combinación de éstos. La mayoría de los modelos se centran en fenómenos específicos (por ejemplo, transporte de agua subterránea) y varían en complejidad, lo cual depende de las premisas que se tracen durante el desarrollo del modelo. En la RBCA, se utilizan modelos simplificadores de migración de niveles de selección de los Niveles 1 y 2, mientras que en el Nivel 3 se utilizan modelos más complejos.

X.3.7.2 La Tabla X3.1 exhibe una lista de referencias de numerosos modelos simplificadores, que resultan adecuados en las evaluaciones de nivel de selección para una serie de vías de importancia para fugas de hidrocarburos contaminantes. La mayoría de los modelos de migración de nivel de selección tienen una forma matemática simple y se basan en múltiples premisas restrictivas y no en fenómenos reales. Por ejemplo, un modelo simple es el uso de la velocidad estimada de flujo de agua subterránea para evaluar el tiempo de desplazamiento entre el borde más prominente de una pluma disuelta de hidrocarburos y un pozo de agua subterránea. Se puede efectuar una aproximación del tiempo de desplazamiento, de la siguiente manera:

$$[\text{distancia al pozo (en pies)}/\text{velocidad de flujo (pies/años)} = \text{tiempo de desplazamiento (en años)} \quad (\text{X3.1})$$

X3.7.2.1 En el caso de un compuesto relativamente liviano, como el benceno disuelto en agua subterránea, la mejor alternativa será igualar la velocidad de flujo a la velocidad de flujo del agua subterránea. En cambio, los compuestos más pesados, como el naftaleno, pueden retardarse, de manera tal que se puede utilizar una velocidad de flujo menor que la velocidad del agua subterránea. Si la superficie del agua subterránea presenta líquidos miscibles, como la gasolina, la velocidad de flujo líquido puede efectivamente exceder la velocidad del agua subterránea.

3.7.3 En el proceso de la RBCA, no se descarta el uso de modelos más complejos; no obstante, dada la limitación de datos y premisas, muchos de los modelos numéricos complejos se reducen a las expresiones analíticas expuestas en la Tabla X3.1.

X3.74 *Requerimientos de datos del modelo de migración* – Los modelos de predicción de migración requieren la incorporación de características específicas del sitio. Las características que se requieren con mayor frecuencia para diversos modelos simplificadores incluyen las siguientes:

X3.7.4.1 Densidad del volumen del suelo (para un suelo tipo: $\approx 1,7 \text{ g/cm}^3$);

X3.7.4.2 Porosidad total del suelo (para un suelo tipo: $\approx 0,38 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$);

X3.7.4.3 Contenido de humedad que, en muchos casos, se puede calcular de manera conservadora. Equivale, aproximadamente, a la porosidad total del suelo por debajo del nivel freático, y normalmente es $>0,05 \text{ cm}^3 - \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3 -$ de suelo en la zona vadosa; éste puede constituir un parámetro fundamental de ingreso en el caso de los modelos de difusión y puede requerir la determinación específica del sitio si no se utilizan valores conservadores;

X3.7.4.4 Fracción de materia orgánica en partículas de suelo ($= 0,00d - 0,01$: generalmente, se parte de la premisa muy conservadora para el suelo arenoso); éste también puede resultar un parámetro crítico que requiera la determinación específica del sitio, si no se utilizan valores conservadores);

X3.7.4.5 Conductividad hidráulica (normalmente se requiere la determinación específica del sitio);

X3.7.4.6 Pendiente del agua subterránea y dirección del flujo (es necesaria la determinación específica del sitio), y

X3.7.4.7 Tasa de disminución de primer orden (normalmente requiere calibración específica de acuerdo con el sitio, dado que los modelos son muy sensibles a este parámetro). Ver Tablas X3.2 y X3.3 y Ref (41) para un resumen de los valores calculados que existen actualmente en la bibliografía. Las tasas de atenuación calculadas que contienen los datos de la Tabla X3.3, incluyen retardo, dispersión, además de biodegradación natural. No obstante, los estudios de sensibilidad indican que la biodegradación natural es el factor dominante. Dichos estudios utilizan la Ref (42), y de acuerdo con ellos, un orden de aumento en la magnitud de la tasa de biodegradación natural es 3,5 veces más efectiva que un orden de aumento en la magnitud en el retardo y 12 veces más efectiva que un orden de aumento en la magnitud en la dispersión al atenuar la concentración a través de la distancia. Por consiguiente, alrededor del 80% de la atenuación que muestran los datos de la Ref (41) puede atribuirse a la biodegradación natural.

X3.7.4.8 Un análisis similar de la sensibilidad de los parámetros de atenuación para la vía de transporte de vapor también indica que la biodegradación natural es el mecanismo de atenuación predominante (43). La geología del suelo no se considera, de manera directa, un mecanismo de atenuación, sino un factor más poderoso que, incluso, la biodegradación natural, para determinar hasta qué distancia se desplaza la

contaminación. De acuerdo con el modelo de transporte de vapor (43), la contaminación con gasolina no se desplaza muy lejos en la arcilla [menos de 30 pies (9 m)].

X3.7.5 De acuerdo con los modelos seleccionados, es posible que se requiera otra información, como información meteorológica (velocidad del viento, precipitaciones, temperatura), distribuciones del tamaño de las partículas del suelo y características de las edificaciones cercanas.

X3.7.6 En la mayoría de los casos, se requieren las mediciones de atenuación de los compuestos (disminución de las concentraciones) a una distancia en dirección opuesta al área de la fuente contaminante, a efectos de calibrar y verificar las capacidades de predicción de los modelos seleccionados. La cantidad de datos que se necesitan dependerá de los siguientes factores:

X3.7.6.1 El código de modelo que se utiliza;

X3.7.6.2 La sensibilidad del modelo a cambios de los parámetros que se introducen;

X3.7.6.3 La contribución de la vía de interés a la exposición y riesgos totales progresivos.

X3.7.7. Generalmente, para que los modelos de migración obtengan resultados precisos, se requieren propiedades químicas y físicas específicas del sitio para los parámetros más sensibles. No obstante, en lugar de datos específicos del sitio, se pueden utilizar, con debida cautela, valores conservadores seleccionados de bibliografía.

X3.7.8 *Procedimiento de Modelado de Migración*

El procedimiento para aplicar un modelo de migración incluye los siguientes pasos: definición de los objetivos del estudio, desarrollo de un modelo conceptual, selección de un código informático o algoritmo, construcción del modelo, su calibración, ejecución del análisis de sensibilidad, realización de simulaciones de predicción, documentación del proceso de modelado y una post-auditoria. Normalmente, estos pasos se siguen en orden; sin embargo, existe una superposición significativa entre ellos y, a medida que se exploran nuevos conceptos o se obtienen nuevos datos, dichos pasos se vuelven a analizar. El criterio de modelado repetitivo también puede requerir un replanteo conceptual del problema. A continuación, se analizan los pasos básicos del modelado:

X3.7.8.1 *Objetivos del Modelado* --- En primer lugar, se deben identificar los objetivos del modelado (es decir, las preguntas que contestará el modelo). Los objetivos ayudan a determinar el nivel de detalle y precisión requeridos en la simulación del modelo. Es ideal especificar objetivos completos y detallados antes de llevar a cabo cualquier actividad de modelado. Los objetivos pueden implicar interpretar los datos de caracterización del sitio y monitoreo, predecir una futura migración, determinar los requerimientos de la acción correctiva, o predecir el efecto de medidas de acción correctiva propuestas.

X3.7.8.2 *Modelo Conceptual* – Un modelo conceptual de una fuga de un agente contaminante subterráneo, tal como lo es una fuga de hidrocarburos proveniente de un tanque subterráneo, es una interpretación o descripción operativa de las características y la dinámica del sistema físico. El propósito del modelo conceptual consiste en consolidar los datos del sitio y los regionales en un conjunto de premisas y conceptos que se pueden evaluar de manera cuantitativa. El desarrollo del modelo conceptual requiere la recolección y análisis de datos físicos correspondientes al sistema que se investiga.

(1) El modelo conceptual identifica y describe aspectos importantes del sistema físico, que incluyen los siguientes: marco geológico e hidrológico; tipo de medio (por ejemplo, fracturado o poroso); procesos físicos y químicos, y propiedades hidráulicas, climáticas y de vapor. La Guía D5447 describe, con mayor detalle, el modelo conceptual para los sistemas de flujo de agua subterránea.

(2) Con el modelo conceptual, se debe proveer un análisis de las deficiencias de los datos y de posibles fuentes de error. Por lo general, este modelo contiene áreas de incertidumbre ocasionadas por la falta de datos de campo. Por ende, se deben identificar estas áreas y evaluar su importancia en el modelo conceptual, con respecto a los objetivos del proyecto.

X3.7.8.3 *Selección del Código Informático* – La selección del código informático es el proceso de elección del algoritmo de software, u otra técnica de análisis, capaz de simular las características del sistema físico, según se las ha identificado en el modelo conceptual. Los tipos de códigos que normalmente se utilizan en el proceso de la RBCA son modelos numéricos y analíticos. El código seleccionado debe ser adecuado para adaptarse a los datos existentes y cumplir con los objetivos del modelado. Asimismo, se debe probar la capacidad del código informático para el uso que se le intenta dar, y ser adecuadamente documentado.

(1) Normalmente, los modelos analíticos se basan en premisas de propiedades uniformes y geometrías regulares. Las ventajas consisten en armado y ejecución rápidos. Las desventajas son, en muchos casos, el hecho de que los modelos analíticos son tan simplificadores que desatienden aspectos importantes de un sistema dado.

(2) Los modelos numéricos posibilitan sistemas heterogéneos más complejos con propiedades distribuidas y geometrías irregulares. Las ventajas consisten en la flexibilidad para simular sistemas físicos

más complejos y la variabilidad de parámetros naturales. Las desventajas, en que insumen mucho tiempo y pueden demandar recoger muchos más datos e información.

(3) Se pueden considerar otros factores en el proceso de toma de decisiones, por ejemplo, la experiencia del analista del modelo y los que se describen a continuación, para el proceso de construcción del modelo; factores como la dimensionalidad determinarán las capacidades del código informático del modelo.

X3.7.8.4 *Construcción del Modelo* – La construcción del modelo es el proceso de transformar el modelo conceptual en una forma matemática. El modelo, generalmente, consiste de dos partes, el conjunto de datos y el código informático, cuya conformación está incluida dentro del proceso de construcción del modelo. Como componentes fundamentales de un modelo de migración, se encuentran la dimensionalidad, discretización, condiciones iniciales y condiciones límite, agentes contaminantes y propiedades del medio.

X3.7.8.5 *Calibración del Modelo* – La calibración de un modelo es el proceso por el cual se ajusta el ingreso de datos, cuando la información no se ubica dentro de escalas razonables para obtener una coincidencia entre los valores observados y los simulados. La escala dentro de la cual las condiciones límite y los parámetros del modelo pueden ser variadas se determina a través de los datos presentados en el modelo conceptual. En el caso en el que los parámetros se encuentren óptimamente definidos por las mediciones de campo, la escala dentro de la cual se varía el parámetro en el modelo debería coincidir con la escala observada en el campo. El grado de concordancia entre las simulaciones del modelo y las mediciones de campo se puede cuantificar utilizando técnicas estadísticas.

(1) En la práctica, la calibración de modelo se logra, con frecuencia, a través del ajuste, por prueba y error, de los datos del modelo ingresados, para que coincidan con las observaciones de campo. El proceso de calibración continúa hasta que el grado de correspondencia entre la simulación y el sistema físico sea coherente con los objetivos del proyecto.

(2) La calibración de un modelo se evalúa a través del análisis de los residuales. Un residual es la diferencia entre la variable observada y la simulada. La Guía D 5490 describe los ensayos estadísticos e ilustraciones que muestran la distribución de los residuales para modelos de flujo de agua subterránea.

(3) La calibración de un modelo para un solo conjunto de mediciones de campo no garantiza una solución única y exclusiva. Para minimizar la posibilidad de generalización, se debe ensayar el modelo para un conjunto diferente de condiciones o esfuerzos límite. Este proceso se conoce como verificación de la aplicación. Si existe una mala correspondencia con un segundo conjunto de datos de campo, entonces es necesaria una calibración o recolección adicionales de datos. La verificación exitosa de los resultados de una calibración da como resultado un mayor grado de seguridad en las predicciones del modelo. En tanto, un modelo calibrado pero no verificado también puede utilizarse para realizar simulaciones de predicción si se lo acompaña de un análisis de sensibilidad.

X3.7.8.6 *Análisis de Sensibilidad* – El análisis de sensibilidad consiste en un método cuantitativo para determinar el efecto de la variación de los parámetros en los resultados de un modelo. Los siguientes son los dos propósitos de un análisis de sensibilidad: (1) cuantificar la incertidumbre del modelo calibrado, causada por la incertidumbre en los estimados de los parámetros, esfuerzos, y condiciones límite, e (2) identificar los datos incorporados del modelo que ejercen mayor influencia en las predicciones y calibración del modelo.

(1) La sensibilidad de un parámetro del modelo se expresa, con frecuencia, como el grado relativo de cambio de un cálculo del modelo seleccionado, ocurrido durante la calibración, con respecto a ese parámetro. Si un pequeño cambio ingresado en el parámetro o condición límite provoca un cambio significativo en el resultado, el modelo es sensible a ese parámetro o condición límite.

(2) El hecho de que un cambio dado en la calibración del modelo se considere o no importante es una cuestión de criterio. Sin embargo, los cambios en las conclusiones del modelo se pueden representar de una manera objetiva. Por ejemplo, si se utiliza un modelo para determinar si un agente contaminante es capturado por un pozo de agua potable, la concentración computarizada podrá, o no, ser detectada en esa ubicación. Si, debido al valor del dato incorporado que se está variando, las conclusiones del modelo cambian pero dicho cambio en la calibración del modelo no es importante, los resultados pueden ser inválidos dado que, dentro de la escala de ese parámetro, en la cual el modelo se puede considerar calibrado, las conclusiones del modelo cambian. La Guía D 5611 presenta más información sobre el análisis de sensibilidad para la aplicación de un modelo de flujo de agua subterránea.

X3.7.8.7 *Predicciones del Modelo* – Una vez que se hayan llevado a cabo estos pasos, se utiliza el modelo para satisfacer los objetivos de modelado. Se deben documentar, en el informe del modelo, las simulaciones de predicción, incluidas las ilustraciones que sean necesarias.

[Insertar la Tabla X3.2 y, a continuación, la X3.3]

TABLA X3.2 Tasas de degradación informadas para hidrocarburos derivados del petróleo

Inglés	Español
Aquifer	acuífero
Benzene	Benceno
Benzo(a)Pyrene	Benzo(a)pireno
Ethyl-Benzene	Etilbenceno
MTBE	MTBE
Napthalene	Naftaleno
O-Xylenes	O-Xilenos
Reference	Referencia
Soruce of Data	Fuente de los datos
Toluene	Tolueno
Xylenes	Xilenos

^A Ver Ref (36)

^B Ver Ref (37)

^C Ver Ref (38)

^D Ver Ref (39)

^E Ver Ref (40)

TABLA X3.3 Resultados de la regresión exponencial para concentraciones versus tiempo^a

Inglés	Español
Benzene	Benceno
Compound	Compuesto
Chemical facility	Planta química
Ethyl-Benzene	Etilbenceno
K % per day	K % por día
PCE	PCE
Site	Sitio
TCE	TCE
Toluene	Tolueno
Xylene	Xileno

^A Fuente: Ref (41)

X3.8 *Procedimientos de aplicación en los modelos de evaluación de riesgos, exposición y respuesta a la dosis:*

X3.8.1 Los “modelos de exposición” se utilizan para estimar la toma química, o dosis, mientras que los “modelos de evaluación de riesgos” se utilizan para relacionar la salud humana, o los impactos ecológicos, con la toma de una sustancia química. Los modelos de evaluación de riesgos y de exposición, normalmente, se combinan para calcular la concentración objetivo de un compuesto en un punto de exposición, en aire, agua o suelo.

X3.8.1.1 En el caso de compuestos que se han clasificado como carcinógenos, los modelos de exposición y evaluación de riesgos se han vinculado de la siguiente manera:

$$Riesgo = \frac{\text{toma promedio a lo largo de la vida} [\text{mg/kg} \cdot \text{día}]}{[m] P5 \text{ factor de pendiente} [\text{mg/kg} \cdot \text{día}]^{-1}} \quad (\text{X3.2}),$$

donde la toma depende de los parámetros de exposición (tasa de ingestión, duración de la exposición, etc.) y la concentración en el punto de exposición. El factor de pendiente (a veces conocido como “factor de potencia” se basa, en sí, en un modelo y un conjunto de premisas subyacentes, que se analizan a continuación.

X3.8.1.2 Para el caso de compuestos que no se han clasificado como carcinógenos, los modelos de exposición y evaluación de riesgos son, por lo general, los siguientes:

$$\text{Coeficiente de peligro} = \frac{\text{toma promedio} [\text{mg/kg} \cdot \text{día}]}{\text{dosis de referencia} [\text{mg/kg} \cdot \text{día}]} \quad (\text{X3.3}),$$

donde la toma depende de los parámetros de exposición (tasa de ingestión, duración de la exposición, etc.) y la concentración en el punto de exposición. El factor de pendiente (a veces conocido como “factor de potencia” se basa, en sí, en un modelo y un conjunto de premisas subyacentes, que se analizan más abajo.

X3.8.2 *Evaluación de Toxicidad: modelos de respuesta a la dosis-* – Las evaluaciones de toxicidad utilizan estimados de dosis correspondientes a una “dosis segura” o un nivel tóxico, sobre la base de estudios en animales. En algunos casos, se cuenta con información epidemiológica humana acerca de una sustancia química. Los toxicólogos, habitualmente, generan dos premisas sobre los efectos de los agentes de riesgos en bajas concentraciones frecuentes en las exposiciones al medio ambiente:

X3.8.2.1 Existen umbrales para la mayoría de los efectos biológicos; en otras palabras: para efectos tóxicos no carcinogénicos y no genéticos, existen dosis por debajo de las cuales no se observan efectos nocivos en un conjunto de individuos expuestos, y

X3.8.2.2 No existen umbrales para los efectos de daño genético o para aquellos carcinogénicos progresivos. Cualquier nivel de exposición al agente de riesgo genotóxico o carcinogénico corresponde a cierto aumento, diferente del valor cero, en la posibilidad de inducir efectos genotóxicos o carcinogénicos progresivos.

X3.8.3 La primera premisa cuenta con la amplia aceptación de la comunidad científica y con el sustento de evidencia empírica. El valor del umbral de una sustancia química se conoce normalmente como NOAEL. Con frecuencia, los científicos calculan los NOAEL a partir de estudios sobre animales. Un valor importante que, en forma habitual, resulta de un valor NOAEL o LOAEL es la RfD. Una dosis de referencia es una estimación (con un grado de incertidumbre que, generalmente, abarca un orden de magnitud) de una exposición diaria (mg/kg/día) a la población humana en general (que incluye subgrupos sensibles), que tiende a existir sin un riesgo apreciable de producir efectos nocivos durante el transcurso de una vida de exposición. El valor RfD deriva del NOAEL o del LOAEL por aplicación de factores de incertidumbre (UF) que reflejan diversos tipos de datos utilizados para calcular las RfD y un factor modificador adicional (MF), que se basa en un juicio profesional acerca de la calidad de toda la base de datos de la sustancia química. Por ejemplo, la RfD oral se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$RfD = \frac{NOAEL}{(UF [m]] P5 MF)} \quad (\text{X3.4})$$

X3.8.4 La segunda premisa, referida a la inexistencia de efectos con umbral para los agentes genotóxicos o carcinogénicos, resulta más controvertida, pero ha sido adoptada por el EPA de EUA. Para agentes genotóxicos y carcinogénicos, las extrapolaciones a partir de dosis experimentales elevadas a bajas dosis de importancia para el medio ambiente, requieren el uso de modelos matemáticos para curvas generales de respuesta a dosis bajas. Se debe advertir que, si bien el EPA utiliza el modelo lineal de estados múltiples para describir el efecto carcinogénico progresivo, no existe un acuerdo general, dentro de la comunidad científica, que indique que éste sea el modelo apropiado para utilizar.

X3.8.5 El factor crítico que se obtiene a partir de la curva dosis-respuesta es el factor de pendiente (SF), que es la pendiente de la curva dosis-respuesta en la región de dosis baja. Las unidades del factor de pendiente se expresan como $(\text{mg}/\text{kg}\text{-día})^{-1}$, y vinculan una dosis dada proveniente del medio ambiente con el riesgo de incidencia adicional de contraer cáncer por encima de los antecedentes.

X3.8.6 Los valores de RfD o SF se obtienen, normalmente, a partir de un conjunto de tablas de referencia estándar (por ejemplo, Ref (2) o Ref (3)). Es importante observar que la información en IRIS ha sido revisada sólo por pares que pertenecen al EPA, y pueden no siempre contar con el apoyo de la comunidad científica externa. Si bien la calidad de la información del IRIS ha sido objeto de análisis en todo el ente, la información que contienen las tablas de HEAST no lo ha sido. Por lo tanto, el usuario debe consultar los documentos de evaluación originales con el objeto de estimar los aciertos y las limitaciones de los datos que contienen las tablas de HEAST. Por consiguiente, se debe tener cuidado al utilizar los valores allí incluidos. En caso de que ni el IRIS ni las HEAST proporcionen un valor determinado, algunos entes estaduales o locales cuentan con factores de toxicidad que han trazado ellos mismos, o bien preferencias por factores que deben utilizar. La Tabla X3.1 presenta los valores de un espectro de hidrocarburos que son normalmente de interés.

X3.8.7 Es importante observar que, al extrapolar la información proveniente de estudios en animales a humanos, se obtiene una serie de premisas conservadoras.

X3.8.7.1 En el caso de los no carcinógenos, se utiliza, por defecto, un sistema arbitrario de factores de seguridad e incertidumbre (en múltiplos de diez), como se ha analizado, para convertir las observaciones sobre animales a estimaciones sobre humanos.

X3.8.7.2 Para los carcinógenos, algunas de las premisas más importantes incluyen las siguientes: (1) se utilizan los resultados del estudio más sensible sobre animales para extrapolar a humanos; (2) en general, se supone que las sustancias químicas que poseen cualquier actividad carcinogénica progresiva en animales, son carcinógenos para humanos en potencia; y (3) no existe umbral para los carcinógenos.

X3.8.8 Con frecuencia, la incertidumbre en los valores de la RfD y el SF se desestima y se consideran valores únicos que se encuentran normalmente resumidos en bases de datos como IRIS y HEAST; en tanto, las premisas descriptas son decisiones de política de manejo de riesgos que formula el EPA de EUA. Estas premisas no están explícitamente definidas y, por lo tanto, disminuyen el carácter conservador del cálculo de la dosis segura. Por consiguiente, se debe tener cuidado al interpretar resultados que tienen como base estas evaluaciones de toxicidad conservadoras.

X3.8.9 *Modelado de Evaluación de Exposición* – El objetivo del modelado de evaluación de exposición consiste en evaluar la incorporación de sustancias químicas cuando un receptor está expuesto a compuestos presentes en su medio ambiente. Fundamentalmente, el proceso para desarrollar y utilizar modelos de migración, presentado en X3.7, se aplica de manera directa al modelado de evaluación de exposición. En este caso, el usuario:

X3.8.9.1 Desarrolla un modelo conceptual al identificar las vías de exposición significativas y los receptores;

X3.8.9.2 Selecciona un modelo para describir la tasa de contacto y la subsiguiente incorporación de la o las sustancias químicas;

X3.8.9.3 Lleva a cabo un análisis de sensibilidad para identificar parámetros críticos;

X3.8.9.4 Selecciona parámetros de exposición adecuados (tasas de inhalación, etc.);

X3.8.9.5 Genera estimaciones de exposición e incorporación, y

X3.8.9.6 Evalúa la incertidumbre de los cálculos.

X3.8.10 Existen diferencias entre el proceso definido en X3.7 y el que se puede aplicar efectivamente en el modelado de evaluación de exposición. Por ejemplo, a excepción de las exposiciones e impactos sobre los recursos del medio ambiente, es difícil calibrar los modelos de evaluación de exposición si no se llevan a cabo estudios epidemiológicos que resultan de alto costo.

X3.8.11 Normalmente, los modelos que se utilizan para calcular la incorporación son expresiones algebraicas simplificadoras, como las que incluye la Ref (27). El Apéndice X2 ilustra la aplicación de estas ecuaciones.

X3.8.12 En muchos casos, se dispone de los valores de parámetros de exposición en la Ref (27); no obstante, también existe otra información más reciente en publicaciones analizadas por pares. Se deben revisar todas las fuentes cuidadosamente. Si bien se suelen elegir valores puntuales por razones de simplicidad, existen distribuciones estadísticas para muchos de los parámetros de exposición, de aplicación en los análisis del Nivel 3.

X3.8.13 Es común utilizar valores de la RME de la EPA de EUA en el cálculo de la evaluación de exposición, como lo presenta el ejemplo de Tabla de Consulta del Nivel 1, del Apéndice X2. El valor de la RME se define, en forma habitual, como un límite superior estadístico de los datos existentes (por lo general, el 85% al 90% de todos los valores son inferiores al valor de la RME). Por consiguiente, al seleccionar de manera coherente y multiplicar los valores conservadores de la RME, el usuario modela un escenario que resulta muy improbable y siempre más conservador que el escenario de exposición “real” de la RME. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al utilizar combinaciones de estos valores de defecto en evaluaciones de riesgos, para evitar una sobreestimación significativa de la exposición para un sitio específico.

X3.9 Informe – El propósito del informe del modelo es comunicar las conclusiones, documentar los procedimientos y las premisas del estudio, además de brindar una información exhaustiva para el posterior análisis por parte de pares profesionales. El informe debe conformar un documento completo que permita, a los analistas y a las personas encargadas de la toma de decisiones, formular su propia opinión en lo que respecta a la credibilidad del modelo. El informe debe describir todos los aspectos del estudio de modelado descrito en este apéndice.

X4. CONTROLES INSTITUCIONALES

X4.1. *Introducción:*

X4.1.1. El objetivo de este apéndice es brindar una revisión de los controles institucionales comúnmente utilizados. A los fines de este apéndice, se entiende por “controles institucionales” aquellos controles que pueden ser utilizados por las partes responsables y los entes de reglamentación en programas de remediación, en los cuales, como parte del programa, determinadas concentraciones de sustancia(s) química(s) de interés quedarán en el sitio en suelo o en agua subterránea, o en ambos. En este apéndice, se mencionan ejemplos de programas de California, Connecticut, Illinois, Indiana, Iowa, Massachusetts, Michigan, Missouri, y New Jersey. Además, algunos programas federales como los acuerdos con el auspicio del *Superfund* [fondos extraordinarios del gobierno de EUA destinados a la limpieza de sitios contaminados] y los planes de clausura según la Ley *RCRA* [Ley de conservación y recuperación de recursos - *Resource Conservation and Recovery Act*] han utilizado las siguientes técnicas, que durante varios años fueron descriptas como un mecanismo adecuado para asegurar que se reduzca al grado necesario la exposición a los restos de concentraciones de sustancias químicas de interés.

X4.1.2. Las clases de controles institucionales que se tratan en el presente apéndice son las siguientes:

X4.1.2.1. Restricciones en escrituras públicas, o disposiciones restrictivas,

X4.1.2.2. Restricciones de uso (incluida la restricción respecto de áreas de pozos),

X4.1.2.3. Controles de acceso,

X4.1.2.4. Notificaciones, entre las cuales se incluyen notificaciones a los registros, notificaciones efectivas, y notificaciones a las autoridades gubernamentales,

X4.1.2.5. Requisitos legales sobre registros,

X4.1.2.6. Requisitos legales sobre transferencia, y

X4.1.2.7. Obligaciones contractuales.

X4.1.3. Los controles institucionales para los programas de remediación del medio ambiente varían en forma y en contenido. Los entes y los propietarios de las tierras pueden invocar sus derechos y mecanismos de cumplimiento, ya sea públicos o privados, para realizar cualquiera de estos controles o varios de ellos conjuntamente. Por ejemplo, un estado podría adoptar un mandato legal (ver Apéndice X4.2) y exigir que se apliquen las restricciones en escrituras públicas (ver Apéndice X4.3) como un modo de instar al cumplimiento de las restricciones de uso (ver Apéndice X4.4) y la colocación de señales (un tipo de control de acceso, ver X4.5). Por ende, los controles institucionales enumerados a continuación se utilizan, con frecuencia, como estrategias combinadas, y como consecuencia, las diferencias entre ellos son difusas.

X4.2. *Mandatos legales.* En algunos estados, los programas de respuesta a las emergencias prescriben controles institucionales posteriores a la remediación e imponen sanciones civiles al incumplimiento. Los planes varían de un estado a otro, pero todos ellos imponen obligaciones a los propietarios de las tierras para que utilicen uno o más de los controles institucionales enumerados en este apéndice.

X4.3. *Restricciones en escrituras públicas:*

X4.3.1. Las restricciones en escrituras públicas establecen límites y condiciones para el uso y la transmisión de tierras. Son dos los objetivos: (1) informar a los posibles propietarios y arrendatarios sobre las condiciones ambientales de la propiedad y (2) asegurar el cumplimiento a largo plazo de los controles institucionales que son necesarios para mantener la integridad de la acción de remediación en el tiempo. La imposición de restricciones al modo en que una persona puede utilizar su tierra es contraria a los principios básicos legales sobre bienes inmuebles, y por ello se deben cumplir ciertas normas para que una restricción en la escritura pública sea vinculante y su cumplimiento exigible.

X4.3.2. Existen cuatro requisitos para que una obligación en una restricción en escritura pública (o “cláusula restrictiva”) se pueda oponer a los propietarios actuales o futuros: (1) que exista un documento escrito, (2) la intención de las dos partes originarias de que se establezcan restricciones especiales sobre la tierra a perpetuidad, (3) que se cumpla el principio por el cual nadie puede transmitir mejores derechos sobre una cosa que los que tiene, y (4) que las restricciones “afecten y se relacionen con la tierra”.

X4.3.2.1. El primer requisito es el de la escritura. Es una prescripción legal que las transmisiones de tierra se deben documentar por escrito. Esta misma prescripción es válida para las restricciones en escrituras públicas que afecten tierras. En forma ideal, una restricción en la escritura utilizada como control institucional debería estar expresamente establecida por escrito e inscribirse luego en el registro local del inmueble, del mismo modo y con las mismas formas que los documentos e inscripciones de una venta de tierras. También se puede exigir a las partes que realicen la escritura pública con formas solemnes, una formalidad legal que ha sido abandonada en la mayoría de los estados.

X4.3.2.2. El segundo requisito es que la restricción en una escritura pública debería reflejar de manera precisa las intenciones de las partes con respecto al ámbito y la duración de las restricciones. Se recomienda mencionar, en forma expresa en escritura pública, la restricción que las partes desean que permanezca con la tierra (es decir, que dure a perpetuidad y vincule a los futuros propietarios).

X4.3.2.3. El tercer requisito, que se respete el principio por el cual nadie puede transmitir un derecho mejor que el que tiene, surge del interés por que sólo las personas que tienen una determinada relación con la tierra debieran poder obligarse a restricciones en escritura. Por lo general, las restricciones en escritura son obligaciones entre el comprador y el vendedor o entre vecinos; por ello, el estado o un tercero no pueden hacer cumplir esa restricción en escritura. Sin embargo, aún en los estados que requieren que se cumpla este principio, se trata esta cuestión si el propietario adquirió la tierra con conocimiento sobre la existencia de las restricciones y podría ser obligado a cumplirlas por parte de estos terceros. Por lo tanto, también se recomienda firmemente que las restricciones en escritura establezcan en forma expresa que el organismo ambiental del estado puede exigir el cumplimiento de las restricciones. El registro de estas restricciones en escritura sirve como un aviso para cualquier persona que en el futuro compre o adquiera un interés sobre la tierra. Por ello, este principio no debiera ser una barrera a la exigencia de cumplimiento, por parte del estado, de la restricción en escritura si se realizan los procedimientos adecuados.

X4.3.2.4. Por último, una restricción en escritura es sólo exigible si la obligación “afecta y se relaciona con la tierra”. Una norma práctica básica para decidir esta cuestión es si el interés legal del propietario sobre la tierra disminuye su valor debido a la restricción en la escritura. Si disminuye el valor de la tierra por ello, entonces se podría decir que la restricción “afecta y se relaciona con la tierra”. Se debe advertir que la cuestión se concentra en la tierra en sí; es menos probable que se puedan exigir las obligaciones que son de naturaleza personal y conciernen meramente a las actividades humanas que puedan ocurrir en la tierra. Por ello, cualquier restricción en escritura utilizada como control institucional debería ser escrita para que se concentre en la tierra y el uso de la tierra.

X4.3.3. Debido a los posibles obstáculos que los organismos gubernamentales pudieran enfrentar al exigir el cumplimiento de restricciones en escritura, podría ser conveniente que algún estado en particular buscara modificar sus leyes y reglamentaciones para asegurar que existe esta imposición con respecto a todas las restricciones con fines ambientales.

X4.3.4. Las soluciones posibles en caso de incumplimiento de las restricciones en escrituras son dos: (1) las personas o los entes pueden iniciar acciones judiciales para obtener una orden judicial (medida cautelar) que exija el cumplimiento o (2) si la legislación del estado lo permite, el procurador del estado puede recurrir

a sanciones civiles como, por ejemplo, multas por incumplimiento, con el fin de lograr el cumplimiento de las obligaciones.

X4.3.5. El programa de un estado puede requerir que el propietario continúe monitoreando las actividades y permita el acceso de los funcionarios del estado en cuestiones ambientales al sitio para monitorear el cumplimiento de los controles institucionales. Es posible que estas convenciones deban incluirse como restricciones en las escrituras para que se transmitan con la tierra de propietario a propietario, pero también se puede exigir a los responsables la firma de un contrato en el que consten estas obligaciones. Por supuesto, casi todos los estados tienen la autoridad suficiente para emitir resoluciones administrativas con el fin de realizar alguna de estas convenciones, o todas ellas conjuntamente.

X4.3.6. Los acuerdos anteriores también pueden establecer los procedimientos en caso que una emergencia provoque la necesidad que se altere el sitio en proceso de remediación. Por ejemplo, si se deben reparar las tuberías subterráneas de los servicios públicos, el propietario debe cumplir este protocolo para manejo del suelo y advertir a las autoridades del estado.

X4.4. *Restricciones en el uso:*

X4.4.1. Las restricciones en el uso son, generalmente, la esencia de las restricciones en la escritura. Las restricciones en el uso describen el uso adecuado e inadecuado de la propiedad, en un esfuerzo por mantener en forma permanente los beneficios de la acción de remediación y asegurar un uso de la propiedad que se adapte a las normas de limpieza aplicables. Estas técnicas también prohíben que cualquier persona le asigne al sitio un uso que pueda de alguna manera crear un riesgo inaceptable de exposición ambiental o humana a concentraciones residuales de una o varias sustancias químicas de interés.

X4.4.2. Las restricciones de uso se concentran en aquellos usos que pueden alterar una tapa de confinamiento o cualquier suelo sin proceso de remediación bajo la superficie o debajo de una edificación. También puede corresponder que se prohíba beber el agua subterránea en el sitio (o fuera del sitio mediante la restricción respecto de las áreas de pozos que se trata a continuación).

X4.4.3. A modo de ejemplo, un programa puede permitir que una restricción sobre registros incluya uno o más de los siguientes rubros:

X4.4.3.1. Restricción sobre el uso de la propiedad;

X4.4.3.2. Condicionar el cambio de uso de no residencial, en cumplimiento con todas las normas de limpieza aplicables a una propiedad residencial.

X4.4.3.3. Restringir el acceso; o

X4.4.3.4. Restringir la alteración de los efectos de remediación aprobados por el ministerio.

X4.4.4. La restricción respecto de áreas de pozos puede constituir un modo de control institucional al informar la existencia de una o varias sustancias químicas de interés en aguas subterráneas, y al prohibir o condicionar la construcción de pozos en la zona.

X4.4.4.1. Esta técnica preserva la integridad de cualquier acción de remediación en aguas subterráneas al prohibir o condicionar la construcción o el uso de cualquier tipo de pozo dentro del área.

X4.4.4.2. Las restricciones de esta naturaleza respecto de los pozos estarían sujetas a la aprobación del ente y la difusión pública, y puede incluir la restricción respecto de la construcción o ubicación de cualquier tipo de pozo dentro de un área especialmente designada. Se resalta que esta restricción respecto de pozos se inscribe en los registros inmuebles y en diferentes organismos municipales y de la salud. Las restricciones sólo se pueden eliminar al demostrarse que se han remediado las concentraciones de sustancias químicas de interés en el área que sufre la restricción respecto de sus pozos, conforme las normas del estado.

X4.5. *Controles de acceso:*

X4.5.1. Otro grupo de controles institucionales es el control de acceso a un sitio específico. Para determinar el nivel y los medios adecuados de este control de acceso, el estado utiliza los criterios que se describen a continuación:

X4.5.1.1. Si el sitio se encuentra ubicado en un área residencial o de uso mixto;

X4.5.1.2. La proximidad a áreas de uso sensible, que incluye guarderías de niños, lugares de recreación, y escuelas; y

X4.5.1.3. Si el sitio es atravesado, con frecuencia, por vecinos.

X4.5.2. El acceso puede ser controlado por cualquiera de los siguientes medios: cercos y portones, seguridad, o señales y advertencias.

X4.6. *Notificación.* -- Las reglamentaciones de este tipo generalmente brindan información sobre la ubicación específica en el sitio de la o las sustancias químicas de interés, y revelan cualquier restricción en el

acceso, uso, y desarrollo de una parte del sitio contaminado o de su totalidad para preservar la integridad de la acción de remediación.

X4.6.1. Notificación a los registros:

X4.6.1.1. Algunos estados exigen que los sitios que tienen fugas de desechos peligrosos inscriban una advertencia en los registros de propiedad para brindar la información correspondiente a las actividades pasadas y actuales en el sitio a cualquier futuro comprador de la propiedad.

X4.6.1.2. El requisito de notificación a los registros puede ser amplio; el programa puede exigir que cualquier propiedad sujeta a una acción de respuesta obtenga una opinión profesional y luego prepare y registre una Garantía de Restricción Ambiental que sea respaldada por esa opinión.

X4.6.1.3. El requisito de notificación al registro puede ser complementario al acto de transferencia (ver Apéndice X4.8), en el que sólo se exige el registro de una evaluación ambiental al realizarse una transacción sobre la tierra.

X4.6.2. Notificación efectiva:

X4.6.2.1. Los estados pueden exigir una notificación directa sobre todo tipo de información ambiental a las demás partes de una transacción sobre tierras. Estas leyes protegen a los futuros compradores y arrendatarios, y también ayudan a asegurar que se cumplan siempre las restricciones de uso y los demás controles institucionales.

X4.6.2.2. La notificación efectiva de un problema ambiental o la omisión de notificación puede otorgarle a una de las partes el derecho a cancelar la transacción y derivar en sanciones civiles. Por ejemplo, los propietarios de tierras y vendedores que no notifican del modo requerido por el estado pueden ser considerados responsables de los daños, además de sufrir la imposición de multas. Los arrendatarios no residenciales que no notifiquen a los propietarios sobre la fuga de sustancias peligrosas, o que se sospeche que puedan serlo, podrán sufrir la resolución de su contrato de arrendamiento y se encontrarán sujetos a multas.

X4.6.3. *Notificación a las autoridades gubernamentales.* También se les puede exigir a las partes en una transacción sobre tierras que completen la declaración ambiental ante diferentes autoridades ambientales. Se podrá requerir una notificación a las autoridades gubernamentales antes de realizar la operación.

X4.7. Requisitos legales sobre registros:

X4.7.1. Algunos estados cuentan con programas legales sobre registros que establecen el mantenimiento de un registro de sitios de eliminación de residuos peligrosos y la restricción en el uso y la transferencia de los sitios inscritos.

X4.7.2. Una ley típica sobre registros prescribe que el organismo del estado en cuestiones ambientales establezca y mantenga un registro de todos los bienes inmuebles que han sido utilizados para la eliminación de sustancias peligrosas, ya sea en forma ilegal o con anterioridad a la regulación de la eliminación de sustancias peligrosas en ese estado.

X4.7.3. El organismo del estado tiene la responsabilidad de investigar los sitios que posiblemente deban incluirse en el registro. En el registro se inscribe la ubicación del sitio y una lista de los residuos peligrosos en la propiedad, y puede también incluir una clasificación del nivel de peligro a la salud o al medio ambiente que se presenta, a causa de las condiciones de la propiedad. Este ente del estado puede solicitar que se realicen inspecciones pormenorizadas del sitio para determinar su prioridad en relación con otros sitios en el registro.

X4.7.4. Los propietarios de los sitios propuestos para su inclusión en el registro tienen derecho a ser oídos y apelar, y los propietarios de los sitios inscritos en el registro tienen derecho a que se modifique o se quite ese sitio de la lista. En algunos casos, el propietario de un sitio, cuya inclusión en el registro se ha propuesto, puede lograr que se retire esa propuesta de inclusión en el registro mediante la celebración de un acuerdo con el estado. En ese acuerdo se establecerá un cronograma y la responsabilidad respecto de la acción de remediación.

X4.7.5. Cuando un sitio se encuentra inscripto en un registro del estado, el propietario debe cumplir con los requisitos legales con respecto al uso y transferencia del sitio. El uso de un sitio inscripto en el registro no se puede modificar sin autorización del ente del estado. En las negociaciones por la transmisión de un sitio registrado, el propietario puede estar obligado a revelar el registro al comienzo del proceso, y se puede requerir autorización del ente del estado para la transmisión de una propiedad inscripta en el registro. En otros programas, no se requiere autorización alguna para la transmisión, pero el vendedor debe notificar al ente del estado sobre la transacción.

X4.7.6. Finalmente, la legislación sobre registros prescribe que la inscripción de una propiedad en el registro de sitios con materiales peligrosos se realice en la localidad correspondiente de manera que esa inscripción surja en la cadena de transmisión de ese título.

X4.8. *Requisitos legales sobre transferencias:*

X4.8.1. Algunos estados tienen programas de transferencia que requieren la evaluación total de todas las cuestiones ambientales antes o después de que ocurra la transferencia. Puede ocurrir que dentro de ese programa, los controles institucionales se puedan realizar por medio de una orden consentida, una resolución administrativa, o por otra técnica que establezca la ejecución y la responsabilidad continua de los controles institucionales.

X4.8.2. Una ley típica sobre transferencia impone obligaciones y confiere derechos a las partes de una transacción sobre tierras, que surgen del estado ambiental de la propiedad que se transfiere. Las leyes sobre transferencia imponen la obligación de informar al vendedor o arrendador de una propiedad (ver Apéndice X4.6.3). Esa parte debe revelar información general sobre responsabilidad estricta respecto de los costos de limpieza así como información específica sobre la propiedad, tales como la presencia de sustancias peligrosas, los requisitos y el estado de los permisos, la presencia de fugas de producto, y acciones para exigir su cumplimiento, y variantes.

X4.8.3. Es esencial el cumplimiento de las obligaciones legales respecto de transferencias del modo prescrito para asegurar una transmisión exitosa. Con frecuencia, la ley sobre transferencias funciona de manera tal que una transacción se convierta en una anulable antes de que ocurra la transferencia. La omisión de dar aviso en la forma requerida y dentro del plazo requerido, o el conocimiento sobre la inobservancia de una norma ambiental, o una condición sin remediación, liberará al receptor de esa transferencia y al prestador de cualquier obligación de cerrar la operación, aún cuando ya se hubiera firmado un contrato. Asimismo, el incumplimiento a la ley sobre transferencias puede ser el fundamento para una acción judicial para recuperar los consecuentes daños.

X4.9. *Obligaciones contractuales:*

X4.9.1. Un sistema utilizado para asegurar la restricción futura del uso de un sitio, o la obligación de efectuar tareas de remediación en un sitio, es solicitar a las partes privadas un uso restringido mediante un contrato. Si bien este método, con frecuencia, se negocia entre las partes privadas, será difícil, si no imposible, institucionalizar un cierto control sobre ese proceso sin interferir con las capacidades y derechos de las partes privadas para negociar libremente estas responsabilidades.

X4.9.2. Otro modo es que el mismo propietario o la parte responsable se obligue con el estado mediante un contrato. El estado puede exigir un compromiso contractual de la parte para que se ofrezca un monitoreo del sitio a largo plazo, así como restricciones en el uso, y medios para la financiación continua de las tareas de remediación.

X4.10. *Responsabilidad financiera continua.* Otro aspecto de los controles institucionales es el establecimiento de mecanismos financieros mediante los cuales una parte responsable asegura la financiación continua de las medidas de remediación y la garantía que satisfaga al estado.

X4.11. *Referencias:*

X4.11.1. Las siguientes referencias sirven a modo de ejemplo y son actuales al cuarto trimestre de 1993:

X4.11.1.1. *Referencias sobre restricciones en escrituras:*

Reglamentaciones del Código Administrativo de New Jersey:

24 *New Jersey Regulations 400 (1992)* [(*New Jersey Administration Code §7.26D-8.2 (e) (2)*)]

24 *New Jersey Regulations 400-02 (1992)* [(*New Jersey Administration Code §7.26D-8.1-8.4*)]

24 *New Jersey Regulations 401 (1992)* [(*New Jersey Administration Code §7.26D Apéndice A, Documento modelo, enunciación de restricciones ambientales y garantía de servidumbre real [Model Document, Declaration of Environmental Restrictions and Grant of Easement, Item 8]*)]

Ley de transferencia responsable de bienes inmuebles de Illinois [*Illinois Responsible Property Transfer Act § 7 (c) (1985)*]

Código de reglamentaciones de Massachussets [*Massachussets Regulations Code Title § 40.1071 (2)(1) & (k)*]

Massachussets Regulations Code Title § 40.1071 (4)

Código Administrativo de Michigan [*Michigan Administration Code 299.5719 (3)(e) (1990)*]

Normas de Michigan [*Michigan Rules 299.5719 (2), (3)(d)*]

X4.11.1.2. *Referencias sobre restricciones de uso:*

24 *New Jersey Regulations 400 (1992)* (*New Jersey Administration Code §7.26D-8.2 (d)*)

Michigan Administration Code 299.5719 (3)(a),(b),(g)

New Jersey Regulation 7.26D-8.4

X4.11.1.3. *Referencias sobre controles de acceso:*

Código Administrativo de Iowa [*Michigan Iowa Administration Code r.133.4 (2) (b)*]
Michigan Rule 299.4719 (3) (f)
New Jersey Regulations §7.26D-8.2

X4.11.1.4. *Referencias sobre Notificaciones:*

Código de Higiene y Seguridad de California [*California Health and Safety Code § 25359.7 (1981)*]
Illinois Responsible Property Transfer Act (1985)
Código de Indiana [*Indiana Code §13-7-22.5-1-22 (1989)*] - Ley de Información sobre materiales ambientales peligrosos y transferencia responsable de bienes inmuebles [*Indiana Environmental Hazardous Disclosure and Responsible Party Transfer Law*]
Massachusetts Regulations Code Title § 40.1071-1090 (1993)
Michigan Rule 299.5719 (3) (c)

X4.11.1.5. *Referencias sobre requisitos legales sobre registros:*

Iowa Code Ann. §455B.426-45B.432, 455B.411 (1) (1990)
Missouri Code Regulations Title 10 §25-10.010, 25-3.260 (1993)

X4.11.1.6. *Referencias sobre requisitos legales sobre transferencias:*

Connecticut General Stat. §22a-134 et seq
Illinois Responsible Property Transfer Act (1985)
Indiana Code §13-7-22.5-1-22 81989) [*Indiana Environmental Hazardous Disclosure and Responsible Party Transfer Law*]
Proyecto de ley del Senado de New Jersey [*New Jersey Senate Bill No. 1070*], la Ley de recuperación de sitios industriales [*Industrial Site Recovery Act*], que modifica la Ley de responsabilidad en limpiezas ambientales [*environmental cleanup Responsibility Act, N.J.S.A 13:1k-6 et seq.*]
Ley de resarcimiento y control de derrames de New Jersey [*New Jersey Spill Compensation and Control Act, N.J.S.A., 58:10-23.11 et seq.*]

X4.11.1.7. *Referencias sobre obligaciones contractuales:*

Michigan Rule 299.5719 (2)

X4.11.1.8. *Referencias sobre responsabilidad financiera continua:*

Michigan Rule 299.5719 (2)

X5. EJEMPLOS DE LA APLICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS BASADAS EN EL RIESGO.

X5.1. *Introducción.* Los siguientes ejemplos ilustran el empleo de Acciones Correctivas basadas en riesgos [*Risk-Based Corrective Action (RBCA)*] en sitios que presentan fugas de petróleo. Los ejemplos son hipotéticos y fueron simplificados para ilustrar que estas acciones correctivas conducen a decisiones razonables y de protección; sin embargo, reflejan condiciones que comúnmente ocurren en la práctica.

X5.2. *Ejemplo N° 1: Acción correctiva según los niveles de selección basados en riesgos, correspondientes al Nivel 1 [Tier 1 Risk-Based Screening Levels (RBSL)]:*

X5.2.1. *Escenario:* se descubre una fuga de un tanque de almacenamiento subterráneo (*UST*), del sistema de tuberías y del surtidor en una estación de servicio durante una evaluación para la comercialización de un inmueble. Se tiene conocimiento de que existen suelos superficiales afectados por petróleo en el área de llenado de los tanques; sin embargo, se desconoce el grado de impacto del suelo. En el pasado, se vendió tanto gasolina como diesel en el establecimiento. El nuevo propietario planea continuar operando esa estación de servicio.

X5.2.2. *Evaluación del sitio:* La parte responsable realiza una evaluación inicial del sitio, que se concentró en las posibles áreas de la fuente (por ejemplo tanques, tuberías, surtidores) y receptores. Teniendo en cuenta el conocimiento histórico en cuanto a que se ha vendido gasolina y diesel en estas instalaciones, los análisis químicos del suelo y agua subterránea se limitan al benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos y naptalenos. Los resultados de la evaluación del sitio se resumen del siguiente modo:

X5.2.2.1. Los instrumentos de evaluación de campo y los análisis de laboratorio indican que la extensión de suelos con impacto de petróleo se limita a las inmediaciones de la áreas de llenado de los tanques. Un

ensayo del tanque y las tuberías no revela fugas; por lo tanto, la evidencia sugiere que el impacto sobre los suelos fue provocado por derrames y rebales asociados al llenar los tanques de almacenamiento.

X5.2.2.2. Los tanques y tuberías actuales fueron instalados hace cinco años.

X5.2.2.3. El camino de concreto está muy fracturado.

X5.2.2.4. No se encuentran otras fuentes presentes.

X5.2.2.5. En el sitio se encuentran capas que van de arenas finas a limosas.

X5.2.2.6. El agua subterránea que se encuentra en primer lugar está a 32 pies (9,7 m) por debajo de la superficie del suelo y no recibió impacto alguno.

X5.2.2.7. La profundidad máxima a la que se encontraron hidrocarburos es 13 pies (3,9 m). Las concentraciones máximas del suelo, según lo detectado son las siguientes:

Compuesto	Profundidad por debajo de la superficie en pies (metros)	Concentración en mg/kg
Benceno	8 (2,4)	10
Etilbenceno	4 (1,2)	4
Tolueno	6,5 (1,9)	55
Xilenos	3,5 (1,01)	38
Naftalenos	2 (0,6)	17

X5.2.2.8. Un estudio de los receptores indica que hay dos pozos domésticos de agua ubicados dentro de los 900 pies (273,6 m) del área de la fuente. Un pozo se encuentra ubicado a 500 pies (152,4 m) aguas abajo de la zona del suelo afectado; el otro pozo se encuentra aguas arriba. Los dos pozos obtienen agua de la primera zona donde se encontró de agua subterránea.

X5.2.3. *Clasificación del sitio y acción de respuesta inicial:* Tomando en cuenta los escenarios de las clasificaciones de la Tabla 1, este sitio se clasifica como un sitio de Clase 3 dado que las condiciones son tales que, en el peor de los casos, presenta una amenaza a la salud humana y a los recursos ambientales a largo plazo. La acción de respuesta inicial adecuada es evaluar la necesidad de un programa de monitoreo de aguas subterráneas (ver Tabla X5.1). Como máximo, esto consistiría en un pozo único ubicado inmediatamente aguas abajo de los suelos afectados con petróleo. La parte responsable recomienda posponer la decisión de instalar un sistema de monitoreo del agua subterránea hasta que la evaluación del Nivel 1 esté completa, y justifica esta sugerencia en que no se ha detectado impacto en el agua subterránea, ni la extensión limitada de los suelos afectados, o la separación entre los suelos afectados y el agua subterránea que se encontró en primer lugar. El ente de reglamentación concuerda con esta decisión.

X5.2.4. *Desarrollo de la Tabla de consulta para el nivel de selección de RBSL del Nivel 1:* Se han revisado y se consideran válidas para este sitio las premisas utilizadas para extraer el ejemplo de la Tabla de consulta X2.1 del Nivel 1 para los niveles de selección basados en riesgos [RBSL] del Apéndice X2. Una comparación efectuada de los RSBL para las dos vías de interés indica que estos niveles de selección asociados con la vía de lixiviación son los más restrictivos de las dos vías. Dado que este acuífero se está usando en el presente como suministro de agua potable, se seleccionan los valores de los RSBL para el nivel máximo de agentes contaminantes [MCL] del agua potable. En el caso del naftaleno, para el que no existe un MCL, se utiliza el valor de los RSBL correspondientes a un escenario residencial y un coeficiente de peligro de unidad.

X5.2.5. *Evaluación de la vía de exposición.* Tomando en cuenta el uso actual y proyectado para el futuro, las dos únicas vías de exposición, completas y potenciales, son en este sitio: (1) la inhalación de vapores ambientales por parte de los trabajadores en el sitio, o (2) la lixiviación al agua subterránea, el transporte de agua subterránea al pozo de agua potable que se encuentra aguas abajo y la ingestión de agua subterránea (ver Fig. X5.1).

X5.2.6. *Comparación de las condiciones del sitio con los RBSL del Nivel 1.* Tomando en cuenta los datos expuestos en X5.2.2.7. y los RBSL de la Tabla de consulta X2.1. en el Apéndice X2, se observan excedentes de benceno y tolueno en los niveles de selección basados en riesgos de Nivel 1.

X5.2.7. *Evaluación de los resultados del Nivel 1.* La parte responsable decide diseñar un plan de acción correctiva para cumplir con las normas del Nivel 1 después de considerar los siguientes factores:

X5.2.7.1. Los acuíferos poco profundos todavía no se encuentran afectados,

X5.2.7.2. La eliminación rápida (en relación con la tasa de migración química) de la fuente hará innecesario el monitoreo de las aguas subterráneas.

X5.2.7.3. El nuevo propietario proyecta la instalación de nuevos tanques dentro de los seis meses,

X5.2.7.4. Se podría realizar una excavación limitada de los suelos para cumplir con los criterios del Nivel 1 de manera rápida y económica cuando se retiren los tanques, si se lo compara con el costo de continuar con un análisis de Nivel 2, y

X5.2.7.5. Una propuesta de excavación facilitará la transacción sobre el inmueble.

X5.2.8. *Evaluación de la acción de corrección del Nivel 1.* Excavar todos los suelos afectados con concentraciones superiores a los niveles de selección basados en riesgos de Nivel 1 cuando se sustituyan los tanques que se están utilizando en el presente. Después, repavimentar con concreto el área para reducir las posibilidades de futuras infiltraciones y lixiviación a través del suelo que permanezca afectado. Queda resuelto que no será necesario el monitoreo del agua subterránea y el ente de reglamentación conviene en extender una nota que exprese que “No se requiere acción de respuesta posterior y se decreta la clausura de las actividades” con posterioridad a la implementación del plan de acción correctiva.

Tabla X5.1 Ejemplo N° 1: Clasificación del sitio y acciones de respuesta inicial.

Criterios y escenarios establecidos	Ejemplo de acciones de respuesta inicial
<p>3. Amenaza a largo plazo (> 2 años) a la salud humana, la seguridad o los receptores ambientales sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los suelos subterráneos (> 3 pies (0,9 m) por debajo de la superficie del terreno) han recibido un impacto significativo, y la profundidad entre los suelos afectados y el primer acuífero potable es menor de 50 pies (15 m). • El agua subterránea se encuentra afectada y los pozos de suministro de agua potable que producen a partir del intervalo afectado se encuentran a más de 2 años del tiempo de desplazamiento del agua subterránea de la pluma disuelta. • El agua subterránea recibió el impacto, y los pozos de suministro de agua no potable que producen a partir del intervalo afectado se encuentran a más de 2 años del tiempo de desplazamiento del agua subterránea de la pluma disuelta. • El agua subterránea se encuentra afectada y los pozos de suministro de agua no potable, que no producen a partir del intervalo afectado, se ubican dentro de la extensión conocida de sustancia(s) química(s) de interés. • El agua de superficie afectada, el agua pluvial, o el agua subterránea descargan dentro de los 1500 pies (457 m) de un hábitat sensible o cuerpo de agua de superficie utilizado para consumo humano o recreación con contacto. • Los suelos superficiales contaminados de poca profundidad se encuentran abiertos al acceso del público, y las viviendas, parques, lugares de juego, guarderías, escuelas o instalaciones similares se encuentran a más de 500 pies (152 m) de esos suelos. 	<p>Notificar a las autoridades correspondientes, a los propietarios de los inmuebles y a las partes potencialmente afectadas y evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el agua subterránea y determinar las probabilidades de migraciones futuras de una o varias sustancias químicas de interés al acuífero. • Monitorear la pluma disuelta y evaluar las probabilidades de atenuación natural y la necesidad de control hidráulico. • Identificar el uso del agua de pozo, evaluar el efecto del impacto potencial, monitorear la pluma disuelta, y evaluar si la atenuación natural o el control hidráulico constituyen medidas de control apropiadas. • Monitorear la pluma disuelta, determinar el potencial para la migración vertical, notificar al usuario, y determinar si hay probabilidades de impacto. • Investigar el impacto actual sobre el hábitat sensible o el cuerpo de agua superficial, restringir el acceso al área de descarga (si fuera necesario), y evaluar la necesidad de medidas de confinamiento / control. • Restringir el acceso a los suelos impactados.

[Insertar diagrama de flujo: Fig. X5.1 - Example 1 -Exposure Scenario Evaluation Flowchart; FIG. X5.1 Diagrama de flujo: Ejemplo 1- Evaluación de escenarios de exposición]

X5.3. *Ejemplo N° 2: Acciones correctivas basados en riesgos según la evaluación de Nivel 2.*

X5.3.1. *Escenario:* Durante la instalación de nuevas tuberías de transferencia de productos de doble contención, se descubren suelos con impacto de petróleo en las inmediaciones de un surtidor de gasolina en una estación de servicio ubicada cerca del centro de Metrópolis. En el pasado se vendió tanto gasolina como diesel en este establecimiento, que ha funcionado como estación de servicio durante más de veinte años.

X5.3.2. *Evaluación del sitio.* El propietario realiza una evaluación inicial del sitio concentrada en las posibles áreas de la fuente (por ejemplo, tanques, tuberías, surtidores) y receptores. Tomando en cuenta el conocimiento histórico de que se ha vendido gasolina y diesel en el establecimiento, los análisis químicos del suelo y agua subterránea se limitan a detectar la existencia de benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, y naftaleno. Los resultados de la investigación del sitio son los siguientes:

X5.3.2.1. La extensión de los suelos afectados por el petróleo se limita a las inmediaciones de los tanques y surtidores. Un análisis reciente de los tanques y tuberías no reveló fugas; por lo tanto, esta evidencia sugiere que las fugas tuvieron lugar en algún momento del pasado,

X5.3.2.2. Los tanques, tuberías y surtidores actuales se instalaron hace tres años.

X5.3.2.3. El camino de asfalto es el adecuado y no presenta rajaduras.

X5.3.2.4. Existe otra estación de servicio ubicada aguas abajo, en diagonal a la intersección.

X5.3.2.5. El sitio se encuentra sobre arenas limosas con algunas pequeñas capas discontinuas de arcilla.

X5.3.2.6. El agua subterránea, que se encuentra en primer lugar a 32 pies (9,7 m) por debajo de la superficie del suelo, ha recibido el impacto, con las más altas concentraciones disueltas observadas debajo de las posibles áreas de la fuente. Las concentraciones disueltas disminuyen en todas las direcciones al alejarse de las áreas fuente, y las muestras de agua subterránea tomadas aguas abajo de un pozo ubicado en la divisoria central de la calle (aproximadamente a 100 pies (30,4 m) del área de la fuente) no presenta ningún nivel detectable de hidrocarburos disueltos.

X5.3.2.7. La pendiente de flujo del agua subterránea es muy poco profunda, y las velocidades de flujo del agua subterránea es de decenas de pies por año, como máximo.

X5.3.2.8. Se estima que el rendimiento de las aguas subterráneas de este acuífero es de más de 5 galones por minuto (18,9 L/min), y los niveles totales de sólidos disueltos son menores de 700 mg/L. Tomando en cuenta esta información, se considera que este acuífero es un suministro potencial de agua potable.

X5.3.2.9. Un estudio del gas en suelo de poca profundidad indica que no se presentan niveles detectables de vapores de hidrocarburos en la servidumbre constituida por los servicios, que pasa a lo largo del borde sur de la propiedad, o en suelos que rodean el sector de venta de la estación de servicio.

X5.3.2.10. Los suelos impactados se extienden hasta el primer nivel encontrado de agua subterránea. Las concentraciones máximas detectadas en suelo y agua subterránea son las siguientes:

Compuesto	Suelo mg/kg	Aguas subterráneas, mg/L
Benceno	20	2
Etilbenceno	4	0,5
Tolueno	120	5
Xilenos	100	5,0
Naftalenos	2	0,05

X5.3.2.11. Un estudio de receptores indica que no se encuentran pozos domésticos de agua dentro del radio de media milla del sitio; sin embargo, existe un barrio residencial más antiguo ubicado a 1200 pies (365,7 m) aguas abajo del sitio. El aprovechamiento de la tierra en las inmediaciones es ligeramente comercial (por ejemplo galería de negocios). El sitio se encuentra rodeado por dos calles y un estacionamiento de la galería de negocios.

X5.3.3. *Clasificación del sitio y acción de respuesta inicial.* Tomando en cuenta el escenario de clasificación presentado en la Tabla 1, este sitio se clasifica como un sitio de Clase 3 porque las condiciones son tales que, en el peor de los casos, constituye una amenaza a la salud humana y los recursos ambientales a largo plazo (ver Tabla X5.2.) La respuesta inicial adecuada es evaluar la necesidad de un programa de monitoreo de las aguas subterráneas. El propietario propone que el pozo de monitoreo del agua subterránea ubicado aguas abajo en la divisoria de calle sea utilizado como pozo control, y se extraigan muestreos en forma anual. El ente de reglamentación coincide con la propuesta, con la condición de que los muestreos se realicen cada seis meses.

X5.3.4. *Desarrollo de la Tabla de consulta para el nivel de selección de RBSL del Nivel 1:* Se han revisado y se consideran válidas para este sitio las premisas utilizadas para extraer el ejemplo de la Tabla de consulta X2.1.del Nivel 1 para los RBSL del Apéndice X2. Debido a la muy baja probabilidad de que realmente se complete en el futuro la vía de exposición, no se utilizan los MCL y el propietario del sitio puede negociar los niveles de selección basados en un riesgo 10^{-5} a la salud humana debido a los carcinogénicos y coeficientes de peligro iguales a la unidad para los no carcinogénicos (tomando en cuenta la ingestión de aguas subterráneas).

X5.3.5. *Evaluación de la vía de exposición.* Tomando en cuenta el uso actual y el proyectado para el futuro, y los resultados del estudio sobre el gas en suelo, no existen posibles vías de exposición completas en

este sitio. El distrito residencial aguas abajo se encuentra conectado con el sistema público de suministro de agua, y no existe uso local del acuífero que sufrió el impacto. Sin embargo, ante la preocupación por el uso sin control del acuífero en el futuro, el ente de reglamentación solicita que el propietario evalúe el transporte de agua subterránea a la vía de ingestión del agua potable de uso residencial, y reconozca que existen bajas probabilidades de que esto ocurra (ver Fig. X5.2.).

X5.3.6. *Comparación de las condiciones del sitio con RBSL del Nivel 1.* Tomando en cuenta los datos provistos en X5.3.2.10 y el nivel de selección basado en riesgos [RBSL] del ejemplo de la Tabla de consulta X2.1 en el Apéndice X2, sólo se advierten excedentes de benceno en el nivel de selección basado en riesgos de Nivel 1 en las aguas subterráneas y en el suelo.

X5.3.7. *Evaluación de los Resultados del Nivel 1.* El responsable decide continuar con una evaluación del Nivel 2 en relación con el benceno y la vía de exposición de interés, en vez de diseñar un plan de acción correctiva en cumplimiento de las normas del Nivel 1 después de considerar los siguientes factores:

X5.3.7.1. El acuífero de poca profundidad está afectado, pero la pluma disuelta parece estable y el movimiento del agua subterránea es muy lento.

X5.3.7.2. La excavación del suelo para cumplir con los criterios del Nivel 1 sería muy costosa, debido a la profundidad de los suelos que recibieron el impacto. La excavación provocaría el cierre del establecimiento y la remoción y reinstalación de todos los tanques y tuberías.

X5.3.7.3. Los costos por la aplicación de otros métodos convencionales de tratamiento, tales como la extracción de vapor y bombeo y tratamiento, se estiman en más de US\$300.000 durante la remediación; y

X5.3.7.4. Se estima que un análisis del Nivel 2 para este sitio requiere un mínimo de datos adicionales, y se anticipa que derivará en acciones correctivas con igual nivel de protección y menor costo.

X5.3.8. *Evaluación de Nivel 2.* El propietario recoge datos complementarios de monitoreo de las aguas subterráneas y verifica que:

X5.3.8.1. No se encuentra la presencia de ningún producto en fase libre en movimiento.

X5.3.8.2. La pluma disuelta es estable y las concentraciones de agua subterránea parecen disminuir con el transcurso del tiempo.

X5.3.8.3. La pluma disuelta se extiende dentro de los 50 pies (15,2 m) de los límites de la propiedad.

X5.3.8.4. Las concentraciones de oxígeno disuelto son mayores fuera de la pluma disuelta, lo cual indica algún nivel de biodegradación aeróbica.

X5.3.8.5. El movimiento del agua subterránea es menor de 50 pies /año (15,2 m), y

X5.3.8.6. Un modelo simple del transporte del agua subterránea indica que las observaciones son consistentes con las expectativas respecto de las condiciones del sitio.

X5.3.9. *Evaluación de la acción de remediación.* Tomando en consideración la demostración de la atenuación de la pluma disuelta con la distancia, el propietario negocia un plan de acción correctiva que se basa en lo siguiente: (1) cumplimiento de los RBSL del Nivel 1 en el pozo de monitoreo ubicado en la divisoria del centro de la calle, siempre que las restricciones en la escritura se cumplan para evitar el uso del agua subterránea dentro de esa zona hasta que disminuyan los niveles disueltos por debajo del MCL en agua potable, (2) cumplimiento de las restricciones en la escritura para asegurar que el aprovechamiento de la tierra en el sitio no se modificará de manera significativa, (3) continuidad en el muestreo del pozo de monitoreo del agua subterránea utilizado como control en forma anual, (4) si los niveles excedieran los RBSL del Nivel 1, en ese momento para el futuro, se deberá revisar el plan de acciones correctivas, y (5) la clausura se otorgará si las condiciones disueltas permanecen estables o disminuyen en los próximos dos años.

TABLA X5.2. Ejemplo N° 2: Clasificación del sitio y acciones iniciales de respuesta.

Criterios y escenarios establecidos	Ejemplo de acciones de respuesta inicial
<p>3. Amenaza a largo plazo (> 2 años) a la salud humana, la seguridad o los receptores ambientales sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los suelos subterráneos (> 3 pies (0,9 m) por debajo de la superficie del terreno) han recibido un impacto significativo, y la profundidad entre los suelos afectados y el primer acuífero potable es menor de 50 pies (15 m). • El agua subterránea se encuentra afectada y los pozos de suministro de agua potable que producen a partir del intervalo afectado se encuentran a más de 2 años del tiempo de desplazamiento del agua subterránea de la pluma disuelta. • El agua subterránea recibió el impacto, y los pozos de suministro de agua no potable que producen a partir del intervalo afectado se encuentran a más de 2 años del tiempo de desplazamiento del agua subterránea de la pluma disuelta. • El agua subterránea se encuentra afectada y los pozos de suministro de agua no potable, que no producen a partir del intervalo afectado, se ubican dentro de la extensión conocida de sustancia(s) química(s) de interés. • El agua de superficie afectada, el agua pluvial, o el agua subterránea descargan dentro de los 1500 pies (457 m) de un hábitat sensible o cuerpo de agua de superficie utilizado para consumo humano o recreación con contacto. • Los suelos superficiales contaminados de poca profundidad se encuentran abiertos al acceso del público, y las viviendas, parques, lugares de juego, guarderías, escuelas o instalaciones similares se encuentran a más de 500 pies (152 m) de esos suelos. 	<p>Notificar a las autoridades correspondientes, a los propietarios de los inmuebles y a las partes potencialmente afectadas y evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitorear el agua subterránea y determinar las probabilidades de migraciones futuras de agentes contaminantes al acuífero. • Monitorear la pluma disuelta y evaluar las probabilidades de atenuación natural y la necesidad de control hidráulico. • Identificar el uso del agua de pozo, evaluar el efecto del impacto potencial, monitorear la pluma disuelta, y evaluar si la atenuación natural o el control hidráulico constituyen medidas de control apropiadas. • Monitorear la pluma disuelta, determinar el potencial para la migración vertical, notificar al usuario, y determinar si hay probabilidades de impacto. • Investigar el impacto actual sobre el hábitat sensible o el cuerpo de agua superficial, restringir el acceso al área de descarga (si fuera necesario), y evaluar la necesidad de medidas de confinamiento / control. • Restringir el acceso a los suelos impactados.

Insertar diagrama de flujo: Fig. X5.2- Example 2 -Exposure Scenario Evaluation Flowchart; FIG. X5.2 Diagrama de flujo: Ejemplo 2- Evaluación de escenarios de exposición]

X5.4. *Ejemplo N° 3: Acciones correctivas basadas en riesgos [RBCA] con respuesta de emergencia y remediación in situ.*

X5.4.1. *Escenario:* Se produce una fuga de 5000 galones (18925 L) de gasolina super o especial sin plomo en un tanque con pared simple después de la repetida medición manual con una varilla. Los suelos son arenosos en este sitio, el agua subterránea tienen poca profundidad, y se observa producto libre en un pozo de monitoreo cercano dentro de las 24 h. El sitio se encuentra ubicado junto a un edificio de departamentos que tiene un sótano con lavarropas y secarropas que utilizan los habitantes del edificio.

X5.4.2. *Evaluación del sitio:* En este caso, se realiza rápidamente la evaluación del sitio y se centraliza, de inmediato, en la identificación de la existencia de condiciones que sean peligrosas. Se conoce a partir de las evaluaciones geológicas locales que el agua subterránea que se encuentra en primer lugar no es potable, ya que sólo tiene 2 pies (0,6 m) de espesor y se halla sobre arcilla. Los pozos de monitoreo del agua subterránea en el área (de trabajos de evaluación previos) se inspeccionan periódicamente para observar el surgimiento de producto flotante, y se analizan las concentraciones de vapores en los corredores de los servicios públicos con un explosímetro. Mientras comienza esta actividad, un habitante del edificio de departamentos vecino informa al encargado de la estación que en el lavadero en el sótano, hay un fuerte olor a gasolina. Las lecturas del explosímetro indican que las concentraciones de vapor son todavía inferiores a los niveles explosivos, pero el equipo de investigación advierte que existe “fuerte olor a gasolina”.

X5.4.3. *Clasificación del sitio y acción inicial de respuesta.* Esta información limitada es suficiente para clasificar a este sitio como un sitio Clase 2 (grandes posibilidades de que, a corto plazo, las condiciones imperantes se conviertan en condiciones peligrosas de urgencia), tomando en cuenta las concentraciones de vapores observadas, la dimensión de la fuga, y las condiciones geológicas (ver Tabla X5.3.). La respuesta inicial implementada es la siguiente:

X5.4.3.1. El monitoreo periódico del sótano del edificio de departamentos comienza a asegurar que los niveles no aumentan al punto de que sea necesaria la evacuación (ya sea debido a la explosión o efectos agudos de salud). Asimismo se notifica al jefe de bomberos, y se informa a los habitantes del edificio sobre las actividades en el sitio, los posibles peligros y las medidas de atenuación que se están implementando.

X5.4.3.2. Se instala un sistema de recuperación / control hidráulico de producto libre para evitar mayor migración de gasolina líquida en movimiento, y

X5.4.3.3. Se instala un sistema subterráneo de extracción de vapores para evitar que ingrese el vapor al edificio.

X5.4.4. *Desarrollo de Tabla de consulta 1 para el nivel de selección de RBSL, correspondiente al Nivel:* Se han revisado y se consideran válidas para este sitio las premisas utilizadas para extraer el ejemplo de la Tabla de consulta X2.1. para RBSL del Nivel 1 del Apéndice X2. Las concentraciones objetivo de suelo y agua subterránea se determinan tomando en consideración el escenario de invasión de vapores. Después de considerar las cuestiones de salud, OSHA PEL, los antecedentes ambientales nacionales y las concentraciones estéticas de vapor, los niveles objetivo del suelo se basan en el logro de un riesgo de inhalación crónica de benceno de 10^{-4} , y los coeficientes peligrosos de unidad para todos los demás compuestos. El ente está de acuerdo en basar el cumplimiento en los compuestos monoaromáticos volátiles en la gasolina (benceno, tolueno, xilenos, y etilbenceno), pero se reserva el derecho de alterar los niveles objetivo si los efectos estéticos persisten en el sótano del edificio en los niveles comprometidos.

X5.4.5. *Evaluación de la vía de exposición.* Dado que: (1) existen bajas probabilidades de uso del agua subterránea, (2) un acuitardo de 20 pies (6,1 m) de espesor separa el agua del nivel superior de cualquier suministro posible de agua potable, y (3) la gran proximidad del edificio de departamentos, el propietario propone concentrarse en la invasión de vapores en el escenario de inhalación residencial (ver Fig. X5.3.). El ente está de acuerdo, pero para eliminar la posibilidad de que los usuarios de aguas subterráneas sean receptores de riesgo, solicita que se instale un piezómetro aguas abajo en el acuífero inferior. El propietario asiente.

X5.4.6. *Comparación de las condiciones del sitio con RBSL del Nivel 1:* Si bien todavía se debe realizar una investigación inicial completa del sitio, todas las partes concuerdan en que al presente es probable que se excedan los niveles de selección basados en riesgos.

X5.4.7. *Evaluación de los resultados del Nivel 1.* El propietario decide implementar un plan de acción correctiva temporaria, tomando en cuenta los RBSL del Nivel 1, pero se reserva el derecho de proponer una evaluación del Nivel 2 en el futuro.

X5.4.8. *Evaluación de la acción de remediación del Nivel 1.* El propietario propone expandir el sistema de extracción de vapor para remediar los suelos del área de la fuente. Además, propone continuar la operación del sistema de control hidráulico / de recuperación de producto libre hasta la culminación de este proceso de recuperación. Continuará el monitoreo del piezómetro colocado en el acuífero inferior, así como el monitoreo periódico del sótano del edificio de departamentos. Se realizarán, asimismo, evaluaciones complementarias para asegurar que los vapores del edificio no sean consecuencia de otras fuentes. Después de un tiempo de operación, cuando disminuyan las tasas de remoción de hidrocarburos, se implementará un plan de evaluación del agua subterránea y del suelo para recoger datos que respalden la evaluación del Nivel 2.

TABLA X5.3. Ejemplo N° 3: Clasificación del sitio y acciones iniciales de respuesta.

Criterios y escenarios establecidos	Ejemplo de acciones de respuesta inicial
<p>2. Amenaza a corto plazo (0 a 2 años) a la salud humana, la seguridad y los receptores ambientales sensibles.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Existen probabilidades de que se acumulen, en una residencia o en otro edificio, niveles explosivos o concentraciones de vapores que podrían causar efectos agudos. • Los suelos de superficie de poca profundidad contaminados se encuentran abiertos al acceso público, y las viviendas, parques, lugares de juego, guarderías, escuelas o instalaciones similares se encuentran a más de 500 pies (152 m) de esos suelos. • Un pozo de suministro de agua no potable ha recibido impacto o se encuentra amenazado en forma inminente. • El agua subterránea recibió impacto, y los pozos de suministro de agua potable, que producen a partir del acuífero afectado, se encuentra ubicado dentro de la distancia de desplazamiento del agua subterránea proyectada en dos años, aguas debajo de la extensión de la o las sustancias químicas de interés. • Se encuentra afectada el agua subterránea, y un pozo, doméstico o público, de suministro de agua que produce a partir de un intervalo diferente se encuentra dentro de la extensión conocida de sustancias químicas de interés. • El agua de superficie afectada, el agua pluvial, o el agua subterránea descargan dentro de 500 pies (152 m) del hábitat sensible o el cuerpo de agua de superficie utilizado para agua de consumo humano o recreación con contacto. 	<p>Notificar a las autoridades correspondientes, a los propietarios de los inmuebles y a las partes potencialmente afectadas y evaluar la necesidad de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar las probabilidades de migración de vapores (mediante el monitoreo /modelado) y eliminar la fuente (si fuere necesario), o instalar barrera de migración del vapor. • Remover los suelos, cubrirlos, o restringir el acceso. • Notificar al propietario /usuario y evaluar la necesidad de instituir tratamiento del agua en el punto de uso, control hidráulico, o suministro alternativo de agua. • Realizar el monitoreo y luego evaluar si es suficiente la atenuación natural, o si se requiere control hidráulico. • Monitorear la calidad de los pozos de agua subterránea y evaluar si es necesario efectuar control para evitar la migración vertical al pozo de suministro. • Realizar medidas de confinamiento, restringir el acceso a las áreas próximas a la descarga y evaluar la magnitud y el impacto de la descarga.

X5.5.Ejemplo N°4: RBCA basadas en la aplicación de la evaluación de la Tabla de Nivel 2. En circunstancias en las que los datos específicos del sitio son similares en varios sitios, se puede crear una tabla con valores de niveles objetivo específicos de un sitio [SSTL] del Nivel 2. El siguiente ejemplo utiliza una tabla de ese tipo.

X5.5.1. *Escenario:* Se advierte que el agua subterránea ha sido afectada con petróleo en los pozos de monitoreo en una antigua estación de servicio. Las tuberías y tanques subterráneos fueron removidos, y el sitio se encuentra ahora ocupado por un taller mecánico.

X5.5.2. *Evaluación del sitio.* El responsable realiza la evaluación inicial del sitio para determinar la extensión de suelo y agua subterránea que se encuentran afectados por hidrocarburos. Dado que el único combustible que se vendía en el sitio era gasolina, la evaluación se concentró en verificar la existencia de benceno, tolueno, etilbenceno, y xilenos (BTEX) como sustancias químicas de interés. Los resultados de la evaluación del sitio se resumen de la siguiente manera:

X5.5.2.1. El área de suelo afectado por hidrocarburos es de aproximadamente 18000 pies cuadrados (1672m²) y la profundidad del impacto en el suelo es menor de 5 pies (1,5 m); la pluma se encuentra fuera del sitio.

X5.5.2.2. El sitio se encuentra cubierto por asfalto o concreto.

X5.5.2.3. Debajo del sitio hay arcilla.

X5.5.2.4. El agua subterránea superior afectada por los hidrocarburos se encuentra de 1 a 3 pies (0,3 a 0,9m) debajo del nivel. Esta agua no es potable. El primer acuífero potable se encuentra a más de 100 pies (30m) por debajo del nivel y no se encuentra afectado. No se presenta producto libre.

X5.5.2.5. Las concentraciones máximas detectadas son las siguientes:

Compuesto	Suelo mg/kg	Agua subterránea, mg/L
Benceno	39	1,8
Tolueno	15	4,0
Etilbenceno	12	0,5
Xilenos	140	9,0

X5.5.2.6. La velocidad del agua subterránea es de 0,008 pies/día (0,0024 m/día), si se toman en cuenta las pruebas de tratamientos químicos [*slug tests*] y los estudios de proyección vertical del agua subterránea y la porosidad del suelo considerada del 50%.

X5.5.2.7. En un estudio de receptores, se indica que el pozo de agua abajo se encuentra a más de 1,0 milla (1,6 km) y el cuerpo de agua de superficie más próximo se encuentra a 0,5 millas (0,8 km). La distancia al hábitat más sensible es mayor a 1,0 milla; sin embargo, existe cerca del sitio una reserva forestal frecuentada por caminantes y personas de picnic. El hogar más cercano se encuentra a 1000 pies (305 m). El edificio comercial en el sitio se encuentra a 25 pies (7,6 m) del área donde se encuentra el suelo afectado por los hidrocarburos.

X5.5.3. *Clasificación del sitio y acción de respuesta inicial:* Tomando en cuenta los escenarios de clasificación dados en la Tabla 1, este sitio se clasifica como un sitio de Clase 4, sin amenaza demostrable a largo plazo para la salud humana, la seguridad, o los receptores ambientales sensibles, porque los suelos afectados por los hidrocarburos se encuentran cubiertos por asfalto o concreto y no pueden tener contacto, sólo el agua superior no potable sin uso local se encuentra afectada, y no existe posibilidad de niveles explosivos o concentraciones que pudieran causar efectos agudos en edificios próximos. La respuesta inicial adecuada es evaluar la necesidad de implementar un programa de monitoreo del agua subterránea.

X5.5.4. *Desarrollo de la Tabla de consulta para el nivel de selección de RBSL, correspondiente al Nivel 1:* Se han revisado y se consideran válidas para este sitio las premisas utilizadas para extraer el ejemplo de la Tabla de consulta X2.1. para los niveles de selección de RBSL del Nivel 1

X5.5.5. *Evaluación de la vía de exposición.* Las vías completas consisten en la volatilización del agua subterránea y del suelo a espacios cerrados y al aire ambiental, y la exposición directa al suelo o agua subterránea con impacto, por parte de los obreros de la construcción. Una comparación de los RBSL para estas vías de interés indica que los RBSL asociados con la volatilización del suelo a un espacio cerrado son los más restrictivos.

X5.5.6. *Comparación de las condiciones del sitio con RBSL de Nivel 1.* Teniendo en cuenta los datos brindados en X5.5.2 y los RBSL propuestos en la Tabla X2.1., se observan excesos de benceno en suelo y agua subterránea, y tolueno en agua subterránea, con respecto a los RBSL del Nivel 1.

X5.5.7. *Evaluación de los resultados del Nivel 1.* El responsable decidió continuar con una evaluación del Nivel 2 para las vías de interés, en vez de desarrollar un plan de acción correctiva por las razones siguientes:

X5.5.7.1. Sólo se encuentra afectada la capa superior de agua de poca profundidad, y la pluma disuelta se mueve muy lentamente en la arcilla de gran densidad.

X5.5.7.2. La excavación de los suelos para cumplir con los criterios del Nivel 1 sería costosa y se interrumpirían las actividades del negocio en el sitio. La excavación fuera del sitio no tendría ninguna función práctica y, posiblemente, no logre la limpieza del agua subterránea conforme a los criterios del Nivel 1.

X5.5.7.3. Otros métodos convencionales de tratamiento, tales como bombeo y tratamiento y extracción de vapor, sería relativamente ineficaz en la arcilla pesada, y

X5.5.7.4. Una evaluación del Nivel 2 para este sitio no requiere datos complementarios y se espera que sea una acción correctiva con igual nivel de protección y menor costo. .

[Insertar diagrama de flujo: Fig. X5.3- Example3 -Exposure Scenario Evaluation Flowchart; FIG. X5.3 Diagrama de flujo: Ejemplo 3- Evaluación de escenarios de exposición]

X5.5.8. *Desarrollo de la Tabla del Nivel 2 de Niveles Objetivo Específicos de un Sitio [SSTL]:* La tabla del Nivel 2 es similar a la tabla de consulta del Nivel 1, excepto porque estos niveles SSTL para las vías de interés se presentan como funciones tanto de la distancia de la fuente al receptor como del tipo de suelo.

X5.5.8.1. Para las vías que se consideran, los métodos para la tabla del Nivel 2 se corresponden con las pautas que se establecen en la Ref. (26).

X5.5.8.2. Las ecuaciones, las premisas y los parámetros utilizados para construir la Tabla de consulta de Nivel 1 y la Tabla de Nivel 2 son similares, excepto por lo siguiente:

- (1) *Agua subterránea: ingestión de agua subterránea:* Se aplicó una ecuación analítica unidimensional de equilibrio de masa con mecanismos de atenuación de retardo, dispersividad, y desintegración biológica de primer orden (sólo en suelos arenosos), conjuntamente con las ecuaciones en las Tablas X2.2. y X2.3. para estimar los SSTL. El modelo analítico se limita a condiciones de estabilidad y de dispersión longitudinal. En la Ref (44), se presenta la solución analítica a la ecuación de equilibrio de masa.
- (2) *Agua subterránea: inhalación de vapores externos:* Esta vía no se consideró porque las concentraciones de exposición eran muy bajas.
- (3) *Agua subterránea: inhalación de vapores en espacios cerrados (internos):* Se ha utilizado una ecuación de equilibrio de masa unidimensional según Jury, *et al* (31) para modelar el transporte de vapor (43). Este modelo se utilizó en conjunto con las ecuaciones de las Tablas X2.2. y X2.3. para calcular los SSTL. El modelo incluye la atenuación de la concentración entre la fuente y el edificio mediante la partición en agua intersticial sin movimiento; adsorción en el suelo y degradación biológica (sólo en suelos arenosos).
- (4) *Suelos subterráneos: inhalación de vapores externos:* Esta vía no se tomó en cuenta porque las concentraciones de exposición eran muy bajas.
- (5) *Suelos subterráneos: inhalación de vapores en espacios cerrados (internos):* Los SSTL se calcularon a través del modelo de Jury (31), que se presenta en el Párrafo (3) de X5.5.8.2.
- (6) *Suelos subterráneos: lixiviado al agua subterránea:* Los SSTL se calcularon utilizando la ecuación de equilibrio de masa unidimensional descripta en el Párrafo (1) de X5.5.8.2., en conjunto con el factor de lixiviado, LF_{sw} , que se describe en X2.9.4.1.
- (7) No se han modificado ninguno de los valores del parámetro de exposición enumerados en la Tabla X2.4., ni los valores parámetros del suelo, la superficie de la construcción, y del subsuelo, mencionados en la Tabla X2.6. así como tampoco, las propiedades químicas específicas enumeradas en la Tabla X2.7.
- (8) Las tasas de desintegración de primer orden en suelos arenosos se estiman en 0,2% por día para todos los compuestos BTEX. Estas tasas se consideran conservadoras. Chiang, *et al* (38), determinó que se requiere un oxígeno disuelto [DO] de 2,0 mg/L para una biodegradación rápida y completa del benceno. Chiang, *et al* (38) midió una tasa de biodegradación de 0,95% por día para el benceno. En general, las tasas de biodegradación publicadas se encuentran entre el 0,6 y el 1,25% por día. Chiang, *et al* (38) también determinó que las tasas de biodegradación pueden ser más lentas e incompletas en las concentraciones de oxígeno disuelto por debajo de 2,0 mg/L. Este es un valor conservador, dado que la biodegradación aeróbica continúa en concentraciones de oxígeno disuelto tan bajo como 0,7 mg/L (44).
- (9) Las propiedades de la arcilla son las siguientes:

Porosidad total del suelo: cm^3/cm^3	0,05
Contenido volumétrico del agua, cm^3/cm^3	0,40
Velocidad Darcy de agua subterránea, cm/s	25

X5.5.8.3. Se han revisado y se consideran válidas, para este sitio, las premisas utilizadas para extraer el ejemplo de la Tabla de SSTL del Nivel 2. Debido a las premisas muy conservadoras que se han utilizado para calcular la exposición y la pequeña cantidad de personas potencialmente expuestas, los SSTL del Nivel 2 se basan en un riesgo de 10^{-5} a la salud humana para carcinogénicos y coeficientes de peligro iguales a la unidad para los no carcinogénicos.

X5.5.9. *Comparación de las condiciones del sitio con Tabla de SSTL del Nivel 2.* Tomando en cuenta los datos brindados en X5.5.2 y los niveles objetivo para sitios específicos expuestos en la Tabla X5.4., no se observan excesos en los SSTL del Nivel 2 en suelo o agua subterránea.

X5.5.10. *Evaluación de la acción de remediación del Nivel 2.* Tomando en cuenta que los SSTL del Nivel 2 no se encuentran excedidos en suelo ni agua subterránea, el responsable negocia un plan de acción correctiva basado en lo siguiente:

X5.5.10.1. Se realizará el monitoreo anual del agua subterránea en pozos de monitoreo aguas abajo para demostrar que las concentraciones están en disminución.

X5.5.10.2. Si los niveles excedieran los SSTL del Nivel 2 en cualquiera de estos puntos de monitoreo, en algún momento en el futuro, el plan de acción correctiva será revisado.

X5.5.10.3. Se determinará la clausura si las concentraciones disueltas permanecen estables o en disminución en los próximos dos años.

Insertar Tabla X5.4: Tabla de niveles objetivo específicos de un sitio (SSTL) del Nivel : Suelo y Agua subterránea

TABLA X5.4. Ejemplo de Tabla de niveles objetivo específicos de un sitio (SSTL) del Nivel 2: Suelo y Agua subterránea

Inglés	Español
Benzene	Benceno
Carcinogenic Risk	Riesgo carcinogénico
Commercial	Comercial
Distance to source, ft (m)	Distancia a la fuente, en pies (m)
Ethylbenzene	Etilbenceno
Exposure pathway	Vía de exposición
Ground water	Agua subterránea
Ground water ingestion mg/L	Ingestión de agua subterráneas mg/L
Ground water vapor intrusion from ground water to buildings, mg/L	Intrusión de vapor de agua subterránea, desde el agua subterránea a los edificios, mg/L
HQ= Hazard Quotient	HQ = coeficiente de peligro
Industrial	Industrial
Receptor scenario	Escenario del receptor
Residential	Residencial
Soil	Suelo
Soil lechate to protect ground water ingestion target level mg/kg	Lixiviación del suelo para proteger el nivel objetivo de ingestión de agua subterránea
Soil vapor intrusion from soil to buildings, mg/kg	Invasión de vapores en suelo, desde el suelo a los edificios, mg/kg
Soil-vapor intrusion from soil to buildings	Intrusión vapor-suelo, desde el suelo a los edificios
SSTLs at Source Clay Soil, No Natural Biodegradation	SSTL en fuentes de suelos arcillosos, sin biodegradación natural
SSTLs at Source Sandy Soil, Natural Biodegradation	SSTL en fuentes de suelos arenosos, biodegradación natural
Surficial soil ingestion and dermal mg/kg	Ingestión y contacto dérmico con el suelo superficial
Toluene	Tolueno
Xylene	Xileno

^A Porcentaje de peso

^BRES – No se excede el nivel de riesgo seleccionado para compuestos puros presentes en ninguna concentración

^C>S – No se excede el nivel de riesgo seleccionado para todos los niveles disueltos posibles (\leq solubilidad del componente puro).

REFERENCIAS

- (1) *Ecological Assessment of Hazardous Waste Sites: A Field and Laboratory Reference Document*, EPA/600/3-89/013, NTIS No. PB-89205967, Environmental Protection Agency, Washington, DC, March 1989.
- (2) *Integrated Risk Information System (IRIS)*, Environmental Protection Agency, Washington, DC, October 1993.
- (3) *Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST)*, OSWER OS-230, Environmental Protection Agency, Washington, DC, March 1992.
- (4) *Superfund Public Health Evaluation Manuals*, NTIS No. PB87-183125, Environmental Protection Agency, Washington, DC, October 1986.
- (5) *Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST)*, USEPA/OERR 9200.6-303(91.1), NTIS No. PB91-921199, Environmental Protection Agency, Washington, DC, January 1991.
- (6) *Technical Basis and Background for Cleanup Standards for Contaminated Sites*, New Jersey, 1993.
- (7) Verschuereen, K., *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*, 2nd Edition, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., New York, NY, 1983.
- (8) CHEM-BANK, *Hazardous Chemical Databank on Compact Disk—HSDB*, U.S. National Library of Medicine.
- (9) *Information Review Tert-Butyl Methyl Ether*, EPA Contract No. 68-01-6650, CRCS., Inc., Environmental Protection Agency, Washington, DC, March 1986.
- (10) Dragun, J., *The Soil Chemistry of Hazardous Materials*, Hazardous Materials Control Research Institute, Silver Springs, MD, 1988.
- (11) Lyman, W. J., Reehl, W. F., Rosenblatt, D. H., *Handbook of Chemical Property Estimation Methods*, McGraw Hill, New York, NY, 1982.
- (12) Paustenbach, D. J., Jernigan, J. D., Bass, R., Kalmes, R., and Scott, P., "A Proposed Approach to Regulating Contaminated Soil: Identify Safe Concentrations for Seven of the Most Frequently Encountered Exposure Scenarios," *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Vol 16, 1992, pp. 21-56.
- (13) Young, F. A., "Risk Assessment: The Convergence of Science and Law," *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, Vol 7, 1987, pp. 179-184.
- (14) Travis, C. C., Richter, S. A., Crouch, E. A., Wilson, R., and Wilson, E., "Cancer Risk Management: A Review of 132 Federal Regulatory Decisions," *Environmental Science and Technology*, Vol 21, No. 5, 1987, pp 415-420.
- (15) Rodricks, J. V., Brett, S. M., and Wrenn, G. C., "Significant Risk Decisions in Federal Regulatory Agencies," *Toxicology Pharmacology*, Vol 7, 1987, pp. 307-320.
- (16) *National Oil and Hazardous Substances Pollution Contingency Plan*, 40 CFR Part 300, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1990.
- (17) *Hazardous Waste Management System Toxicity Characteristics Revisions* 55 FR 11798-11863, Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- (18) Personal communications, State Agencies, 1990.
- (19) *Policy for Identifying and Assessing the Health Risks of Toxic Substances*, Environmental Toxicology Program, Division of Disease Control, Bureau of Health, Maine Department of Human Services (DHS), February 1988.
- (20) *Draft Interim Guidance for Disposal Site Risk Characterization—In Support of the Massachusetts Contingency Plan*, Office of Research and Standards, Massachusetts Department of Environmental Quality Engineering (DEQE), October 1988.
- (21) *Safe Drinking Water and Toxic Enforcement Act of 1986 (Proposition 65)*, Health and Welfare Agency, Office of the Secretary, Sacramento, CA, 1986.
- (22) *Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards*, American Industrial Hygiene Association, 1989.
- (23) Shah and Singh, *Environmental Science and Technology*, Vol 22, No. 12, 1988.
- (24) *Toxicological Profiles*, ATSDR, U.S. Public Health Services, 1988.
- (25) Wallace, L. A., *Journal of Occupational Medicine*, Vol 28, No. 5, 1986.
- (26) *Risk Assessment Guidance for Superfund*, Vol 1, *Human Health Evaluation Manual, Part A*, EPA/540/1-89/002, Environmental Protection Agency, Washington, DC, December 1989.
- (27) *Exposure Factors Handbook*, EPA 600/8-89/043, Environmental Protection Agency, Washington, DC, July 1989.
- (28) *Supplemental Risk Assessment Guidance for the Superfund Program*, EPA/901/5-89/001, Environmental Protection Agency Region I, Washington, DC, 1989.
- (29) Johnson, P. C., and Ettinger, R. A., "Heuristic Model for Predicting the Intrusion Rate of Contaminant Vapors into Buildings," *Environmental Science and Technology*, Vol 25, No. 8, 1991, pp. 1445-1452.
- (30) *Superfund Exposure Assessment Manual*, EPA/540/1-88/001, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1988.
- (31) Jury, W. A., Spencer, W. F., and Farmer, W. J., "Behavior Assessment Model for Trace Organics in Soil: I, Model Description," *Journal of Environmental Quality*, Vol 12, 1983, pp. 558-564.
- (32) Cowherd, C., Muleski, G. E., Englehart, P. J., and Gillett, D. A., *Rapid Assessment of Exposure to Partulate Emissions from Surface Contamination Sites*, Midwest Research Institute, PB85-192219, 1985.
- (33) Johnson, P., Hertz, M. B., and Byers, D. I., "Estimates for Hydrocarbon Vapor Emissions Resulting from Service Stations Remediations and Buried Gasoline-Contaminated Soils," *Petroleum Contaminated Soils*, Vol III, Kostecki, P. T., and Calabrese, E. J., eds., Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1990, pp. 295-326.
- (34) Mullens, M., and Rogers, T., *AICHE/DIPPR Environmental, Safety, and Health Data*, Design Institute for Physical Property Research—Research Project 911, American Institute for Chemical Engineers, June 1, 1993.
- (35) *Hazardous Waste Treatment, Storage, and Disposal Facilities (TSDF)*, OAQPS, Air Emissions Models, EPA/450/3-87/026, Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1989.
- (36) Barker, J. F., Patrick, G. C., and Major, D., "Natural Attenuation of Aromatic Hydrocarbons in a Shallow Sand Aquifer," *Ground Water Monitoring Review*, Vol 7, 1987, pp. 64-71.
- (37) Kemplowski, M. W., Salanitro, J. P., Deeley, G. M., and Stanley, C. C., "Fate and Transport of Residual Hydrocarbons in Ground Water: A Case Study," *Proceedings of the Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water Conference*, National Well Water Association and American Petroleum Institute, Houston, TX, 1987, pp. 207-231.
- (38) Chiang, C. Y., Salanitro, J. P., Chai, E. Y., Colthart, J. D., and Klein, C. L., "Aerobic Biodegradation of Benzene, Toluene, and Xylene in a Sandy Aquifer—Data Analysis and Computer Modeling," *Ground Water*, Vol 27, No. 6, 1989, pp. 823-834.
- (39) Wilson, B. H., Wilson, J. T., Kampbell, D. H., Bledsoe, B. E., and Armstrong, J. M., "Biotransformation of Monoaromatic and Chlorinated Hydrocarbons at an Aviation Gasoline Spill Site," *Geomicrobiology Journal*, Vol 8, 1991, pp. 225-240.
- (40) Howard, P., et al, *Handbook of Environmental Degradation Rates*, Lewis Publishers Inc., Chelsea, MI, 1991.
- (41) Chevron Research and Technology Company, "Evaluation of Intrinsic Bioremediation at Field Sites," *Proceedings of the 1993 Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Retention, and Restoration*, Westing Galleria, Houston, TX, Nov. 10-12, 1993.
- (42) Van Genuchten and Alves, *Analytical Solutions of the One-Dimensional Convective-Dispersive Solute Transport Equation*, Technical Bulletin No. 1661, U.S. Department of Agriculture, 1982.
- (43) Jeng, C. Y., Kremesec, V. J., Primack, H. S., and Olson, C. B. (Amoco Oil Company), "Predicting the Risk in Buildings Posed by Vapor Transport of Hydrocarbon Contaminants," *Hydrocarbon Contaminated Soil and Ground Water. Proceedings for the 5th West Coast Conference: Contaminated Soils and Ground Water*, Vol 5, Association for Environmental Health of Soils, 1994.
- (44) Wilson, J. T., "Natural Bioattenuation of Hazardous Organic Compounds in the Subsurface," R. S. Kerr Laboratory, Environmental Protection Agency, Draft Paper, 1993.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19426-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).