ANEXO 3

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN Y PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS PARA LA DECLARATORIA DE EMERGENCIA AMBIENTAL EN EL MARCO DE LA LEY 32106

INTRODUCCIÓN:

1.1 Contexto Normativo y Relación con la Gestión de Riesgos

La Ley Nº 32106, que regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental (DEA), establece en su artículo 9 que esta debe sustentarse en la existencia de criterios técnicos específicos, tales como:

- Concentraciones de contaminantes por encima de estándares nacionales o internacionales de calidad ambiental.
- Volumen de sustancias peligrosas liberadas y su peligrosidad inherente.
- Impactos directos a la salud humana o al ecosistema asociados a dichas sustancias.

El artículo 9 subraya la necesidad de utilizar una metodología técnica para evaluar estos criterios y determinar la gravedad del evento ambiental. La metodología aquí presentada responde a esta exigencia, incorporando estos aspectos como factores clave dentro del sistema de puntuación propuesto. Por ejemplo:

Los factores relacionados con el foco de contaminación (peligrosidad, cantidad y área afectada) permiten abordar el análisis de la concentración y el volumen del contaminante.

Los factores asociados a los mecanismos de transporte y los puntos de exposición evalúan las probabilidades de contacto con receptores y sus posibles impactos.

1.2 Importancia de Evaluar Rutas de Exposición

La identificación y evaluación de rutas de exposición representan un eje fundamental para:

Priorizar las acciones de respuesta en emergencias ambientales.

Identificar a los receptores más vulnerables y las áreas críticas de impacto.

Facilitar la toma de decisiones basadas en criterios objetivos y verificables.

1.3 Metodología Propuesta

En respuesta a las disposiciones del artículo 9, la metodología se fundamenta en un esquema de evaluación de rutas de exposición bajo el modelo área afectada - Mecanismo de Transporte - Punto de Exposición. Este modelo permite analizar de forma sistemática cómo un contaminante puede trasladarse desde su origen hasta un receptor,

integrando tanto datos cuantitativos como cualitativos para cubrir escenarios con información limitada.

La metodología utiliza un sistema de puntuación que considera los criterios del artículo 9 como elementos clave dentro de la evaluación. Este enfoque asegura que las rutas de exposición de mayor probabilidad e impacto sean priorizadas, optimizando la asignación de recursos en situaciones de emergencia.

MARCO TEÓRICO

1.4 Definiciones Clave

En el desarrollo de esta metodología, se emplean conceptos fundamentales que permiten estructurar la evaluación de riesgos asociados a emergencias ambientales. Estos conceptos incluyen:

1.4.1 Ruta de Exposición:

Conjunto de elementos que conectan una fuente de contaminación con un receptor potencial, facilitando el transporte del contaminante.

1.4.2 Foco de Contaminación:

Fuente directa o indirecta de contaminantes que representa un potencial de dispersión hacia otros componentes ambientales.

1.4.3 Mecanismo de Transporte:

Procesos físicos, químicos o biológicos que facilitan el movimiento de contaminantes desde el foco hacia los puntos de exposición.

1.4.4 Punto de Exposición:

Lugar donde los receptores, ya sean humanos o ecosistemas, pueden entrar en contacto con el contaminante.

1.4.5 Probabilidad e Impacto:

Componentes esenciales en la evaluación de riesgos, que determinan la posibilidad de ocurrencia de una ruta de exposición y las consecuencias asociadas.

1.5 Base Conceptual

La metodología desarrollada se sustenta en las fases reconocidas de la gestión del riesgo ambiental, las cuales comprenden: la identificación de peligros, la caracterización de la exposición, la evaluación del riesgo y la priorización de acciones. Estas fases proporcionan un marco lógico y estructurado que asegura la coherencia del enfoque y facilita su aplicación en emergencias ambientales.

1.5.1 Importancia de la Identificación de Peligros

La **identificación de peligros** constituye una de las etapas más críticas dentro de la gestión del riesgo. Una identificación robusta y precisa mejora significativamente el desempeño de las fases subsiguientes. En este sentido, la metodología propone el uso

de **modelos conceptuales**, una herramienta ampliamente reconocida en documentos normativos y técnicos como el Decreto Supremo Nº 012-2017-MINAM y la "Guía para la Evaluación de Sitios Contaminados".

El modelo conceptual permite visualizar, de forma gráfica y narrativa, la interacción entre las fuentes de contaminación, los mecanismos de transporte y los receptores potenciales. Este enfoque organiza la evaluación en torno a **rutas de exposición**, las cuales se definen como el camino que une el contaminante y el receptor, incluyendo los medios ambientales y las interacciones necesarias para que ocurra la exposición.

Cada ruta de exposición identificada se convierte en una **unidad de análisis y gestión**, permitiendo una evaluación detallada y específica. Esta aproximación asegura que las decisiones se fundamenten en una comprensión integral de los riesgos potenciales.

1.5.2 Uso de Factores como Aproximación

Para evaluar las rutas de exposición, la metodología adopta un enfoque basado en **factores específicos** que caracterizan los elementos clave: el foco de contaminación, el mecanismo de transporte y el punto de exposición. Este enfoque, ha sido adaptado del documento ***CCME National Classification System for Contaminated Sites***, utiliza un sistema de puntuación ponderado que permite:

1. **Simplificar la complejidad** inherente a la interacción entre contaminantes, medios ambientales y receptores.
2. **Incorporar datos cualitativos y cuantitativos**, adaptándose a contextos de emergencia con limitaciones de información.
3. **Proporcionar un marco replicable**, reduciendo la subjetividad en la evaluación.

1.5.3 Evaluación del Riesgo

Continuando con las fases de gestión del riesgo, tras la identificación de peligros y la caracterización de la exposición, la metodología se enfoca en la **evaluación del riesgo**. Este paso integra la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial asociado a cada ruta de exposición, utilizando la fórmula clásica del riesgo:

$$Riesgo = Probabilidad \times Impacto$$

- **Probabilidad**: Se calcula mediante la suma ponderada de los factores evaluados para cada elemento de la ruta de exposición. Este cálculo permite priorizar las rutas más críticas según su viabilidad.
- **Impacto**: Se evalúa considerando los efectos potenciales sobre la salud humana y los ecosistemas, incorporando indicadores específicos para cada tipo de receptor.

Esta integración asegura que el análisis del riesgo no solo sea exhaustivo, sino también dirigido hacia la priorización de acciones en las rutas de exposición que presentan los mayores riesgos.

1.5.4 Alineación con el Marco Normativo

La metodología está en línea con el marco regulatorio nacional e internacional, integrando principios de documentos clave como la Ley N° 32106, el Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM y guías internacionales como las del CCME. Este enfoque busca asegurar que el proceso de evaluación de riesgos ambientales responda a estándares reconocidos y a las necesidades regulatorias específicas de emergencias ambientales. Además, el diseño de la metodología, basado en modelos conceptuales y la identificación de rutas de exposición, fortalece la capacidad para abordar escenarios críticos con herramientas prácticas y efectivas.

En particular, la metodología desarrollada responde directamente a los criterios establecidos en el artículo 9 de la Ley N° 32106, que define las condiciones bajo las cuales procede una declaratoria de emergencia ambiental. Estos criterios son:

- Nivel de concentración de contaminantes por encima de los estándares de calidad ambiental. La metodología incorpora la evaluación de focos de contaminación, incluyendo la medición de concentraciones de contaminantes en relación con los estándares de calidad ambiental, tanto nacionales como internacionales.
- Volumen o cantidad de sustancia liberada y el área afectada. La metodología considera factores asociados a la magnitud de las sustancias liberadas y su capacidad de movilización a través de distintos mecanismos de transporte, lo que permite cuantificar el impacto potencial en las áreas afectadas.

- Identificación de personas afectadas en la salud por metales pesados u otras sustancias químicas. A través de la evaluación del punto de exposición, nuestra metodología prioriza la identificación de riesgos para la salud humana, integrando datos sobre la cantidad de personas potencialmente expuestas y su vulnerabilidad.

- Alto riesgo para poblaciones o ecosistemas. La integración de la probabilidad de ocurrencia y el impacto permite clasificar el nivel de riesgo de cada ruta de exposición, asegurando que se identifiquen rutas de alto riesgo para priorizar la intervención.

- Afectación a población o contaminación transfronteriza. El enfoque metodológico puede adaptarse para incorporar evaluaciones en contextos transfronterizos, lo que permite abordar situaciones complejas de manera coherente con las normativas internacionales.

Al integrar estos criterios en su estructura, la metodología no solo asegura su alineación con los requerimientos legales, sino que también aporta una herramienta técnica robusta para sustentar decisiones sobre la declaratoria de emergencia ambiental. En este sentido, la metodología refuerza el cumplimiento del artículo 9.2 de la Ley N° 32106, al establecer una base técnica estandarizada que permita aplicar los criterios mencionados de manera efectiva y replicable.

En conjunto, esta base conceptual no solo asegura la aplicabilidad de la metodología en contextos reales, sino que también proporciona un marco para la toma de decisiones fundamentadas, facilitando la coordinación interinstitucional y la gestión eficiente de emergencias ambientales.

1.6 Referencias a Metodologías Internacionales

La metodología desarrollada se inspira y alinea con estándares internacionales reconocidos, como:

- **CCME National Classification System for Contaminated Sites (2008)**: Un sistema que clasifica sitios contaminados en función de su riesgo, utilizando una combinación de indicadores relacionados con las características del foco, la exposición y los receptores.
- **EPA (Agencia de Protección Ambiental, EE. UU.)**: Framework for Environmental Risk Assessment, que define un proceso en fases para evaluar el riesgo ambiental.
- **OMS (Organización Mundial de la Salud)**: Guidelines for Environmental Health Risk Assessment, que enfatizan la evaluación de probabilidad e impacto como componentes clave.

Además, la metodología refleja los principios del **Decreto Supremo Nº 012-2017-MINAM**, que establece un enfoque paso a paso para la gestión de sitios contaminados, basado en la identificación de rutas de exposición alineado con estándares y modelos internacionales.

Metodología

1.7 Objetivo general

La metodología desarrollada tiene como objetivo principal proporcionar un sistema estructurado para evaluar si se cumplen los criterios establecidos en el artículo 9 de la Ley Nº 32106, sirviendo como base técnica para sustentar la declaratoria de emergencia ambiental. Este proceso permite identificar rutas de exposición, cuantificar la probabilidad de ocurrencia y el impacto potencial de cada ruta, y priorizar acciones de intervención.

De manera específica, la metodología se alinea con el requisito legal de verificar si las condiciones observadas en un evento ambiental cumplen con el criterio de **alto riesgo ambiental** exigido por la ley. Esto incluye la evaluación de concentraciones de contaminantes que excedan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), el volumen de sustancias liberadas, y la existencia de riesgos altos en la salud humana o los ecosistemas. Asimismo, la metodología facilita verificar de manera objetiva si la solicitud de activación de la declaratoria de emergencia responde a estas condiciones establecidas.

1.8 Alcance

La metodología propuesta está diseñada para ser aplicada en el contexto de emergencias ambientales generadas por eventos súbitos, como derrames de sustancias químicas, relaves mineros, hidrocarburos u otros materiales peligrosos. Se centra en escenarios donde es necesario evaluar y priorizar rutas de exposición potenciales para sustentar decisiones relacionadas con la declaratoria de emergencia ambiental.

1.9 Estructura del sistema de evaluación

La metodología propuesta integra dos componentes principales para evaluar el riesgo asociado a rutas de exposición: **probabilidad de ocurrencia** e **impacto potencial**. Ambos componentes se combinan para proporcionar una visión integral del riesgo y priorizar las acciones necesarias en una emergencia ambiental.

1.9.1 Esquema General del Sistema

El sistema de evaluación tiene el siguiente esquema:

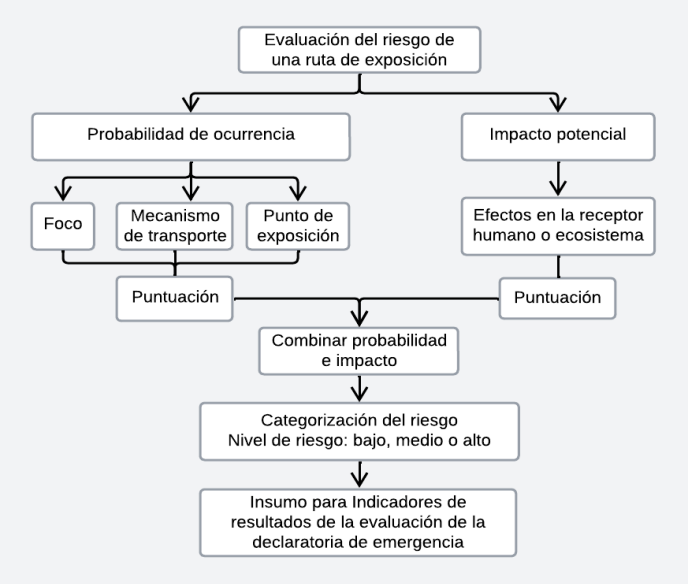

Figura 3.1. Esquema general del sistema

1.9.1.1 Probabilidad de Ocurrencia:

Entonces:

- Se calcula considerando los puntajes de tres elementos clave de la ruta de exposición:
  - **Foco de Contaminación**.
  - **Mecanismo de Transporte**.
  - **Punto de Exposición**.
- El resultado es un valor entre **0 y 100**, que representa la probabilidad de que una ruta de exposición se materialice.

1.9.1.2 Impacto Potencial:

- Evalúa las consecuencias de que la ruta de exposición se materialice.
- Incluye dos tipos de receptores:

- **Receptores Humanos**: Considera los efectos en la salud humana, basándose en factores como la toxicidad y la magnitud del contacto.
- **Receptores Ecológicos**: Considera los efectos en ecosistemas sensibles, como la pérdida de biodiversidad o la afectación de servicios ecosistémicos.

1.9.1.3 Combinación de Probabilidad e Impacto:

- El riesgo final se obtiene combinando los resultados de **probabilidad** e **impacto** mediante una matriz o fórmula específica, que clasifica el riesgo en categorías como **bajo**, **moderado** o **alto**.

1.9.2 Indicadores de Resultados

Los resultados del sistema se sintetizan en **indicadores clave** que reflejan la cantidad de rutas de exposición clasificadas en niveles de riesgo:

- **Cantidad de rutas de exposición** con riesgo **alto**, **medio** y **bajo**, tanto para la salud como para el ecosistema.
- Estos indicadores son insumos esenciales para evaluar si se cumplen los criterios establecidos en el **artículo 9 de la Ley Nº 32106**, donde basta identificar una sola ruta con **riesgo alto** para sustentar la declaratoria de emergencia ambiental.
- Incluso en escenarios donde no se identifiquen rutas de alto riesgo, los indicadores permiten consolidar información crítica sobre las condiciones ambientales, útil para definir acciones de atención y monitoreo.

Esta estructura asegura que el sistema sea lógico, replicable y que sus resultados estén alineados con los objetivos regulatorios y la toma de decisiones en emergencias ambientales.

1.10 Evaluación de Probabilidad de Ocurrencia

La evaluación de la probabilidad de ocurrencia se centra en determinar la posibilidad de que una ruta de exposición se materialice. Este proceso utiliza el **modelo conceptual** como herramienta base, el cual describe de manera gráfica y narrativa las interacciones entre el foco de contaminación, los mecanismos de transporte y los puntos de exposición. El modelo conceptual es fundamental porque permite identificar y visualizar las posibles rutas de exposición, proporcionando una representación clara de las conexiones entre la fuente de contaminación, los medios ambientales involucrados en el transporte del contaminante y los receptores potencialmente afectados.

El modelo conceptual sirve no solo para estructurar la evaluación, sino también para justificar la selección de factores específicos en cada uno de los tres elementos clave de la ruta de exposición. Estos factores se utilizan como una **aproximación cualitativa o semicuantitativa** para evaluar la probabilidad de ocurrencia, especialmente en

escenarios donde la disponibilidad de datos detallados es limitada, como ocurre en muchas emergencias ambientales.

Cada uno de los elementos de la ruta de exposición se desglosa en factores específicos que capturan las características más relevantes de ese elemento. Por ejemplo:

- **En el foco de contaminación**, los factores seleccionados buscan caracterizar la cantidad y peligrosidad del contaminante, así como las condiciones ambientales locales que pueden influir en su comportamiento.
- **En el mecanismo de transporte**, los factores evalúan la viabilidad del movimiento del contaminante a través del medio, considerando tanto las propiedades del contaminante como las características del entorno (por ejemplo, presencia de barreras naturales o capacidad de dispersión).
- **En el punto de exposición**, los factores analizan la vulnerabilidad y uso del lugar, así como la proximidad al foco y las posibles vías de contacto.

Estos factores se ponderan según su influencia en la probabilidad de ocurrencia de la ruta de exposición. La metodología propone un sistema de puntuación para cada factor, que luego se combina para calcular un puntaje total de probabilidad. Este enfoque permite integrar múltiples variables en un único indicador, facilitando la priorización de rutas de exposición críticas para su posterior gestión.

Al optar por este esquema basado en factores, la metodología busca maximizar la objetividad y la replicabilidad de los resultados, adaptándose a las limitaciones de información propias de los contextos de emergencia. De esta manera, la evaluación de la probabilidad de ocurrencia no solo identifica rutas de exposición potencialmente viables, sino que también proporciona una herramienta práctica para orientar decisiones bajo condiciones de incertidumbre.

1.10.1 Ponderación numérica

Se utilizará un sistema de puntuación (máximo de 100 puntos) como medio para evaluar la probabilidad de ocurrencia de una ruta de exposición. Se determinó que los tres elementos de las rutas de exposición tienen la misma importancia en el sistema y, por lo tanto, se les asigna la misma ponderación (33, 33 y 34 puntos, respectivamente).

El sistema para evaluar la probabilidad tiene la siguiente estructura:

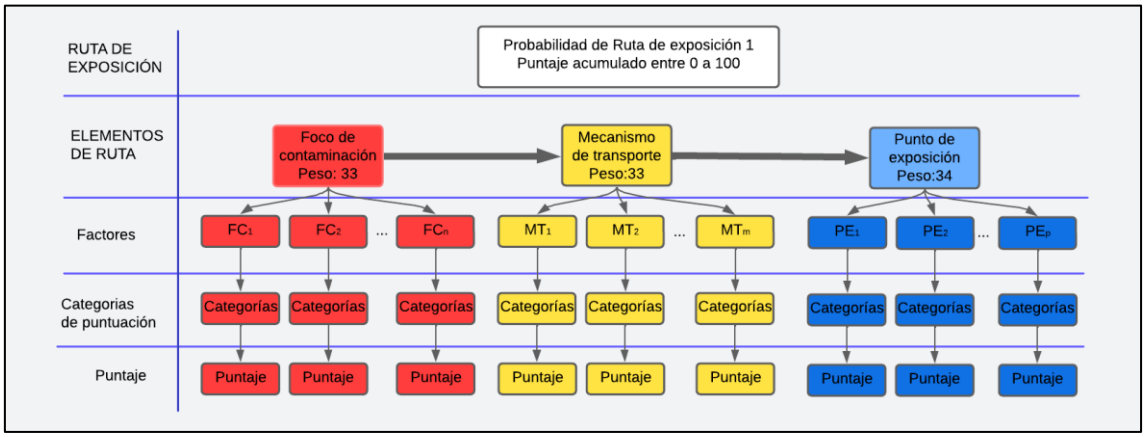

Figura 3.2. Estructura del sistema para evaluar la probabilidad

El rango de puntuación está diseñado para ponderar los factores según su relevancia potencial o real en la contribución al peligro o riesgo de la ruta de exposición. Aquellos factores a los que se les han asignado puntuaciones máximas altas se consideran de mayor relevancia que aquellos con puntuaciones máximas bajas.

Como se indicó el sistema califica en una escala de 0 a 100. Una puntuación total cercana a 0 en el sistema es aquella para la cual todos los factores de evaluación reciben la puntuación más baja posible. Una puntuación de 100 representaría una ruta de exposición para el cual todos los factores recibieron la puntuación más alta posible.

1.10.2 Descripción de factores por elemento

A continuación, se describen los factores para cada elemento de la ruta de exposición que incluye su definición, categorías de puntuación y el peso respectivo.

1.10.2.1 Foco de contaminación:

Tabla 3.1 Factores de puntuación de la sustancia liberada en el foco de contaminación

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
Datos de la sustancia liberada	Peligrosidad de la sustancia liberada	7	Evalúa las características del contaminante, incluyendo su toxicidad, persistencia y capacidad de causar daño. Los contaminantes más peligrosos, persistentes o con alta toxicidad presentan un mayor riesgo para la salud y el medio ambiente. (Ver listado norma canadiense) (1).	7 puntos : Alto 4 puntos : Medio 2 puntos : bajo 4 Puntos : No se sabe
	Área afectada	7	Este factor evalúa el tamaño del área afectada por el contaminante. Un área más extensa tiene un mayor potencial de contacto con mecanismos de transporte y, por lo tanto, un riesgo más alto de dispersión y exposición a los puntos de exposición.	Condicional con la peligrosidad del contaminante. Ver Tabla 2.
	Cantidad de la sustancia liberada	5	Evalúa la cantidad total del contaminante derramado en el lugar de la emergencia. Una cantidad mayor implica un riesgo más alto de dispersión y potencial de impacto en el entorno.	Condicional con la peligrosidad del contaminante. Ver Tabla 2.
Datos cuantitativos de calidad ambiental	Coeficiente ECA	7	Índice basado en la comparación de la concentración máxima detectada de cada sustancia y su valor ECA, nivel de fondo o valor genérico de referencia aplicable. Proporciona un valor para evaluar las condiciones de calidad del medio.	7 puntos : Presencia de NAPL (móvil o inmóvil) (2) 5 puntos : cociente ECA >100 3 puntos : 10< coeficiente ECA< 100 1 punto : 1 < coeficiente ECA <10 4 puntos : No se sabe

			Para ello se procede a calcular el Cociente ECA máximo (para todos los medios de los que se dispongan datos analíticos de laboratorio.	
Datos cualitativos de calidad ambiental	Factor *In situ* de Contaminación y Salud	7	Observaciones de campo que permitan estimar altas concentraciones en los componentes ambientales que superen ECA. Se basa en observaciones de campo realizadas en la zona de emergencia, incluyendo la presencia de la sustancia en fase libre (sin mezclar con el medio) y otros indicios perceptibles, como olores signos visibles de contaminación, Se considera además los reportes de personas expuestas en base a información del establecimiento de salud o por evidencia indirecta (2).	7 puntos : Se sospecha que al menos en 1 componente ambiental podrían exceder los ECA o normas referenciales, además hay casos de personas atendidas en un establecimiento de salud como consecuencia del evento; o casos de exposición reportados en base a observaciones de campo o evidencia indirecta. 5 puntos : Se sospecha que al menos en 1 componente ambiental podrían exceder los ECA o normas referenciales.

(1) Además, se debe consultar con otras bases de datos internacionales como ATSDR, CDC US, EPA, PubChem, TOXNED, entre otras.

(2) Considere el máximo puntaje solo cuando observe NAPL. Los NAPL (LNAPL o DNAPL), es el contaminante líquido en fase no acuosa (es decir, debido a su baja solubilidad, no se disuelve en agua, sino que permanece como un líquido separado) y está presente en una saturación suficientemente alta (es decir, mayor que la saturación residual de NAPL) de modo que existe un potencial significativo de movilidad hacia abajo o lateralmente. Se debe puntuar cualquier cantidad de NAPL, es decir, no se pueden ignorar las cantidades pequeñas y los brillos, para su utilización bastará la observación del producto sobre los componentes ambientales. Ejemplos de NAPL: gasolina, diésel, querosene, benceno, tolueno, xilenos, etilbenceno, petróleo crudo, PCB, hidrocarburos pesados, cloruro de vinilo).

(3) Concordancia con la definición de persona expuesta según el Artículo 4 del Decreto Supremo Nº 007-2023-SA.:
4.1.19. Persona afectada en la salud por la contaminación con metales pesados u otras sustancias químicas. - Persona que cuenta con diagnóstico confirmado de intoxicación por metales pesados u otras sustancias químicas.
4.1.20. Persona expuesta a metales pesados u otras sustancias químicas. - Persona que se encuentra, permanece o reside habitualmente

en territorios o ambientes contaminados por presencia de metales pesados u otras sustancias químicas, sin manifestaciones clínicas de intoxicación aguda o crónica por metales pesados u otras sustancias químicas identificadas.

Tabla 3.2 Puntaje para Cantidad y área en función de la toxicidad

TOXICIDAD		Cantidad		Área inicial del Lugar afectado	
Nivel de toxicidad	**Puntaje**	**Cantidad (kg o equivalente)**	**Puntaje (Cantidad)**	**Superficie (ha)**	**Puntaje (Área)**
Alta (por ejemplo, Mercurio)	7	Menor o igual a 4 (kg)	1	Menor o igual a 1	1
		4 - 6	2	1 - 5	2
		6 - 8	3	5 - 10	3
		8 - 10	4	10 - 20	5
		Más de 10	5	Más de 20	7
Media (Por ejemplo, HC)	4	Menor o igual a 50 (barriles)	1	Menor o igual a 20	1
		50 - 100	2	20 - 50	2
		100 - 500	3	50 - 100	3
		500 -1000	4	100 - 200	5
		Más de 1000	5	Más de 200	7
Baja (Por ejemplo, relave)	2	Menor o igual a 500 (toneladas)	1	Menor o igual a 20	1
		500 - 1000	2	20 - 50	2
		1000 - 5000	3	50 - 100	3
		5000 - 10000	4	100 - 200	5
		Más de 10000	5	Más de 200	7

Nota: Los niveles de toxicidad se clasificaron de acuerdo la lista del Anexo VI - *Contaminant Hazard Ranking - APPENDIX VI REFERENCE MATERIAL* de la CCME *Canadian Council of Ministers of the Environmen, 2008t*[1], por sus siglas en inglés; además, para la cantidad de sustancia y área afectada se tomó como referencia antecedentes de emergencias como:

(a) La escala de puntuación de cantidad y área afectada para las sustancias con nivel de toxicidad alto (por ejemplo, mercurio), fue propuesto en base a la cantidad derramada y área aproximada afectada con mercurio en la emergencia ambiental ocurrido en las cercanías del poblado San Juan, centro poblado menor San Sebastián de Choropampa y poblado Magdalena, provincia y departamento Cajamarca. En ese evento se reportó un derrame de 11 kg (150 L)[2] de mercurio aproximadamente, y el área afectada, tomando en consideración el ancho de la vía y la longitud reportada (27 km) fue > 17 ha aproximadamente.

(b) La escala de puntuación para cantidad y área de sustancia derramada con nivel de toxicidad media, se consideró en base a los derrames de hidrocarburos ocurridos en la emergencia ambiental del 25 de enero de 2016 y el 4 de febrero de 2016 en las localidades de Chiriaco (distrito Imaza, provincia Bagua - Loreto) y Mayuriaga (distrito Morona, provincia Datem del Marañon - Loreto) respectivamente. En este evento se reportó el derrame de considerables volúmenes de hidrocarburo afectando áreas extensas. Por otra parte, otra referencia para estas escalas es el derrame ocurrido el 15 de enero y 25 de enero de 2022 en la superficie de agua de mar de Ventanilla. En este evento se reportó el derrame de más de 6000 barriles y afectó un área de 11061 ha aproximadamente[3].

(c) La escala de puntuación para cantidad y área afectada por sustancias con nivel de toxicidad baja (por ejemplo, relave), fue propuesta en base a la cantidad de relave y área afectada en la emergencia ambiental ocurrido en la cuenca del río Huachocolpa – Lircay - Huancavelica el año 2010. En este evento se reportó el derrame de 22616 m^3 afectando una gran área en de dicha cuenca[4].

1.10.2.2 Mecanismo de transporte:

Dependiendo del mecanismo de transporte que se advierta en la ruta de exposición analizada se tienen los siguientes factores y su puntuación:

Tabla 3.3 Factores de puntuación en el mecanismo de transporte de la sustancia liberada

---

1 CCME (2008). National Classification System for Contaminated Sites, Guidance Document PN 1403 – 2008. Table VI. 1 – Contaminant Hazard Ranking - APPENDIX VI REFERENCE MATERIAL.

2 Ombudsman (2000). Investigación del derrame de mercurio del 2 de junio del 2000 en las cercanías de San Juan, Choropampa y Magdalena, Perú. Informe de la Comisión Independiente a la Oficina del Ombudsman y Asesor en Materia de Observacia de la corporación Financiera Internacional y el Organismo Multilateral de Garantia de Inversiones – COMPLIANCE ADVISOR OMBUDSMAN.

3 Informe N° 00026-2023-OEFA/DEAM-STEC. Evaluación ambiental Focal por el derrame de petróleo crudo en el mar frente a la refinería La Pampilla ocurrido el 15 de enero de 2022. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA.

4 Informe N° 00003-2010/DGCA-jevc/MINAM. Visita Conjunta con OEFA a zona de derrame de relaves en Cuenca de río Huachocolpa-Lircay, Huancavelica, Mina Caudalosa Chica. 01 al 03-07-10. Ministerio del Ambiente.

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
No necesita mecanismo de transporte	Superposición espacial	33	La condición en la que el punto de exposición se encuentra ubicado dentro del mismo espacio geográfico que el área afectada, eliminando la necesidad de un mecanismo de transporte para que los contaminantes o impactos lleguen al receptor. Esta situación implica que el receptor estaría directamente expuesto a los contaminantes presentes en el lugar afectado, condicionado con las características del punto de exposición como el uso que tiene y su frecuencia de exposición entre otras características. Si este es el caso se asume el peso íntegro del elemento de transporte.	33 puntos : El punto de exposición se encuentra en la misma zona de la emergencia.
Escorrentía superficial	Verificación de conexión hidrológica	1	Conexión hidrológica	0 puntos (Sin conexión) : No existe una conexión hidrológica viable entre el área afectada y el punto de exposición: la escorrentía no llegaría al receptor. 1 punto (Conexión viable): Existe una conexión hidrológica clara y directa que permite que la escorrentía desde el área afectada llegue al punto de exposición.
	Existencia de barreras de contención	1	Este factor evalúa si existen barreras naturales o artificiales (en base actividades de primera respuesta del administrado) en el trayecto que puedan limitar o bloquear el flujo de escorrentía, afectando la capacidad de transporte del contaminante hacia los puntos de exposición.	0 punto: Bloqueo de la escorrentía, con barreras significativas, como muros de contención, diques que bloquean completamente el flujo de escorrentía. Efecto en el análisis: La ruta de exposición se considera no viable, y el análisis se detiene para esta ruta. 1 punto: Limitación parcial del flujo con barreras que ralentizan el flujo de escorrentía sin bloquearlo

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
				completamente, permitiendo que el contaminante aún avance hacia el punto de exposición. Efecto en el análisis. El análisis continúa, y se aplican los demás factores del mecanismo de transporte.
	Capacidad del contaminante para ser transportado por escorrentía	**21**	Este factor evalúa la movilidad del contaminante en agua, que depende de su solubilidad y su capacidad para adherirse a partículas del suelo. Los contaminantes solubles en agua o que se pueden adsorber en partículas finas tienen una mayor probabilidad de desplazarse con la escorrentía.	21 puntos: Concentraciones conocidas que exceden los niveles de fondo y los ECA para protección de vida acuática, riego, agua para el ganado y/o recreación; o se sabe por observaciones de campo que hay contacto del contaminante con el agua; 14 puntos: Igual que el anterior excepto que no se conoce la información, pero se sospecha fuertemente con base en observaciones indirectas. (por ej., el producto derramado tiene Muy alta movilidad, se disuelve fácilmente o se adhiere a partículas transportables.) 0 punto: Contaminante insoluble en agua y sin afinidad por finas partículas (baja movilidad).

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
	Precipitación y clima	6	Evalúa la cantidad y frecuencia de precipitación en la zona, ya que lluvias intensas aumentan el riesgo de escorrentía.	1 punto: Precipitaciones mínimas; escorrentía poco probable (climas desérticos o semiáridas con lluvias escasas < 200 mm/año). 2 puntos: Precipitación baja y esporádica; escorrentía limitada (baja pluviosidad entre 200-500 mm/año). 3 puntos: Precipitación moderada; lluvias estacionales y escorrentía moderada (climas templados con lluvias estacionales entre 500-1000 mm/año). 4 puntos Precipitación frecuente o estacionales intensas; alta probabilidad de escorrentía (alta precipitación entre 1000-1500 mm/año). 6 puntos: Precipitación muy intensa y frecuente; escorrentía extremadamente probable (Zonas tropicales o monzónicas > 1500 mm/año).
	Condiciones del terreno	6	Permeabilidad. Se estimará la permeabilidad en función a la granulometría o textura del suelo estimada en campo.	6 puntos : Textura fina (Arcillo arenosa, arcillo limosa o arcillosas) 5 puntos : Moderadamente fina (Franco arcillosa, franco arcillo limosa o franco arcillo limosa) 4 puntos : Textura media (Franca, franca limosa o limosa) 3 puntos : textura Moderadamente gruesa (Franco arenosa) 2 puntos : Textura gruesa (arenosa o arena franca)

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
				1 puntos : Muy gravoso (presencia de fragmentos gruesos)
Agua subterránea	Verificación de conexión hídrica subterránea	1	Este factor se utiliza como un filtro inicial para determinar si existe una conexión subterránea plausible entre el lugar afectado y el punto de exposición. La verificación se basa en una evaluación cualitativa de criterios fácilmente observables, como las cotas de nivel del terreno, el nivel freático y la existencia de barreras naturales. - Compara la altitud del área afectada con la del punto de exposición. Una diferencia de altura en la que el área afectada esté en una cota superior favorece un flujo descendente hacia el punto de exposición. Interpretación: a) conexión probable; si el área afectada se encuentra en una cota superior al punto de exposición, y b) conexión improbable, si el receptor está a una cota superior al área afectada, lo que haría improbable un flujo ascendente. Trabajar con el nivel freático (si la información está disponible).	0 puntos : Conexión improbable Uno o más criterios indican una falta de conexión plausible. 1 punto : Conexión probable (Conexión viable) Todos los criterios sugieren una conexión plausible.

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
			- Evalúa la cercanía del nivel freático en ambos puntos. Si el nivel freático es similar en el área afectada y en el receptor, es más probable una conexión subterránea. Interpretación: a) conexión probable, si nivel freático está cercano a la superficie en ambos puntos, y b) conexión improbable, si hay diferencias grandes en el nivel freático, lo que puede indicar una separación en los sistemas de agua subterránea. Existencia de barreras naturales superficiales. - Considere si existen barreras naturales superficiales entre el área afectada y el receptor, como quebradas, ríos o cuerpos de agua, que podrían impedir una conexión subterránea. Interpretación: a) conexión probable, ausencia de barreras naturales significativas entre el área afectada y el receptor, y b) conexión improbable, presencia de barreras significativas, como cuerpos de agua, que interrumpen la posible trayectoria del flujo subterráneo.	
	Capacidad del contaminante	20	Evalúa la movilidad del contaminante en agua subterránea, principalmente en función de su	20 puntos: Concentraciones conocidas que exceden los niveles de fondo y los ECA o norma referencial; o se

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
	para ser transportado por agua subterránea		solubilidad y potencial de adsorción o degradación en el suelo.	sabe por observaciones de campo que hay contacto del contaminante con el agua;. 14 puntos: Igual que el anterior excepto que no se conoce la información, pero se sospecha fuertemente con base en observaciones indirectas. (por ejemplo, el producto derramado tiene muy alta movilidad, se disuelve fácilmente o se adhiere a partículas transportables.) 0 puntos: Contaminante insoluble en agua y sin afinidad por finas partículas (baja movilidad).
	Profundidad del acuífero	7	Evalúa la distancia entre el área afectada y el acuífero que se considera en riesgo. Una menor profundidad implica un mayor riesgo de contaminación.	7 puntos : Superficial (entre 0 y 2 metros) 3.5 puntos : Mediana (de 2 a 5 metros) 1.75 puntos : A más de 5 metros 4.5 puntos : Se desconoce
	Factor de Textura del suelo afectado	6	Este factor evalúa la composición granulométrica del suelo en el área contaminada, lo que afecta la retención y movilidad del contaminante en el subsuelo. Suelos con partículas más finas, como arcilla, tienden a retener el contaminante debido a su baja permeabilidad, mientras que los suelos arenosos o gravosos permiten una mayor movilidad del contaminante.	Puntuación Descripción de Condiciones de Terreno Ejemplos específicos 6 puntos Muy gravoso (presencia de fragmentos gruesos) 5 puntos Textura gruesa (arenosa o arena franca) 4 puntos textura Moderadamente gruesa (Franco arenosa) 3 puntos Textura media (Franca, franca limosa o limosa) 2 puntos Moderadamente fina (Franco arcillosa, franco arcillo limosa o franco arcillo limosa) 1 punto Textura fina (Arcillo arenoso, arcillo limosa o arcillosos)

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
Cadena trófica	Capacidad de bioacumulación del contaminante	22	Este factor evalúa la capacidad del contaminante de bioacumularse en organismos, un aspecto importante que se puede obtener de referencias generales o de la ficha de seguridad del contaminante. Las sustancias con alta bioacumulación son más propensas a moverse en la cadena trófica. Datos requeridos: Información básica del contaminante (como su ficha de seguridad o bibliografía general).	22 puntos : Contaminante con alta capacidad de bioacumulación y biomagnificación (ej., metales pesados, pesticidas persistentes). 11 puntos : Contaminante con capacidad moderada de bioacumulación (Por ejemplo, hidrocarburos). 0 punto : Contaminante sin tendencia a bioacumularse.
	Movilidad en el ecosistema (compartimentos afectados)	11	Este factor evalúa en qué compartimentos (agua, suelo, sedimento, aire) se encuentra el contaminante tras la emergencia. La presencia del contaminante en múltiples compartimentos aumenta la probabilidad de que entre en la biota y se desplace en la cadena trófica. Datos requeridos, observación básica de las áreas afectadas tras la emergencia (agua, suelo, sedimento y, si es aplicable, aire en caso de partículas o gases volátiles).	11 puntos: Contaminante presente en tres o más compartimentos (ej., suelo, agua, sedimento y/o aire). 9 puntos: Contaminante presente en dos compartimentos (ej., agua y sedimento). 7 puntos: Contaminante presente en un único compartimento (ej., solo suelo).
Aire	Conectividad aérea	1	Este factor se utiliza como un filtro inicial para determinar si existe una conexión plausible a través del viento entre el lugar afectado y el punto de exposición. La verificación se basa en una revisión de data histórica de la rosa de viento en la zona de la emergencia.	0 puntos (Sin conexión): No existe una conexión viable entre la zona de emergencia y el punto de exposición en análisis. La rosa de viento no muestra la conexión en el día. 1 punto (Conexión viable): Existe la probabilidad de conexión entre la zona de emergencia y el punto de

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
				exposición en análisis en algún momento del día; o no se tiene información.
	Capacidad de dispersión en el aire	33	Este factor evalúa la facilidad con la que el contaminante puede dispersarse en el aire, influenciado principalmente por la volatilidad del contaminante y sus propiedades químicas y si se encuentra como polvo que pueda ser transportado por el viento. Los contaminantes que son altamente volátiles o que se aerosolizan fácilmente tienden a dispersarse más lejos ya ser transportados por corrientes de aire.	33 puntos: Concentraciones conocidas del contaminante en el aire que exceden valores de toxicidad aguda y ECA para protección de salud; o se sabe por observaciones de campo que hay contacto del contaminante con el agua; 17 puntos: Igual que el anterior excepto que no se conoce la información, pero se sospecha fuertemente con base en observaciones indirectas. (por ej. el producto derramado tiene alta volatilidad, o hay material particulado que puede suspenderse en el aire.) 0 punto: Contaminante no volátil ni está como material particulado (polvo).
Transporte por cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos,	Dirección del transporte en relación con el punto de exposición	1	Este factor evalúa si existe una conexión viable entre el área afectada por la emergencia ambiental y el punto de exposición mediante el flujo de cuerpos de agua superficiales. Considera corrientes fluviales, oleaje, mareas u otros flujos dinámicos que puedan transportar contaminantes. La probabilidad de conexión se determina mediante revisiones de datos	0 puntos (Sin conexión): No existe una conexión viable entre la zona de emergencia y el punto de exposición en análisis. La revisión de información secundaria no muestra históricamente el evento. 1 punto (Conexión viable): Existe la probabilidad de conexión entre la zona de emergencia y el punto de

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
lagunas y mar)			históricos, información hidrológica o análisis del evento específico.	exposición en algún momento del día o periodo de tiempo; o no se tiene información.
	Existencia de barreras de contención	1	Este factor evalúa si existen barreras naturales o artificiales (en base actividades de primera respuesta) en el trayecto que puedan limitar o bloquear el flujo, afectando la capacidad de transporte del contaminante hacia el punto de exposición.	0 punto - Bloqueo de la escorrentía : Descripción : Barreras significativas, que bloquean completamente la dispersión del contaminante en el mar por transporte marino superficial. Efecto en el análisis : La ruta de exposición se considera no viable, y el análisis se detiene para esta ruta. 1 puntos - Limitación parcial del flujo : Descripción : Barreras que ralentizan el flujo de escorrentía sin bloquearlo completamente, permitiendo que el contaminante aún avance hacia el punto de exposición. Efecto en el análisis : El análisis continúa, y se aplican los demás factores del mecanismo de transporte.
	Capacidad de movilización del contaminante	33	Evalúa la movilidad del contaminante en agua marina, fluvial o lacustre, principalmente en función de su solubilidad y su capacidad de flotación.	1 punto: Baja movilización; el contaminante es principalmente algo soluble y se dispersa localmente. 15 puntos: Movilización moderada; el contaminante se mueve con el flujo se solubiliza o precipita, una parte se moviliza en forma no soluble hacia las zonas ribereñas o costeras. 33 puntos: Alta movilización; el contaminante se transporta efectivamente (por ej., NAPL) y llega a zonas ribereñas o costeras.

1.10.2.3 Punto de exposición

Dependiendo si es para receptor humano o para ecosistema se tiene:

1.10.2.3.1 Receptor humano:

Tabla 3.4 Factores de puntuación de los receptores humanos de la sustancia liberada

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
Exposición conocida	Exposición conocida	15	Este factor pondera si existe casos atendidos de personas expuestas a los contaminantes por la ocurrencia de la emergencia en el punto de exposición.	15 puntos: Casos de personas atendidas en un establecimiento de salud como consecuencia del evento. 10 puntos: Casos de exposición reportados en base a observaciones de campo o evidencia indirecta. 0 puntos: No hay exposiciones confirmados o sospechosos en humanos.
Potencial de exposición	Distancia entre el área afectada y el punto de exposición	7	Este factor mide la distancia entre el área afectada y el punto de exposición. Una menor distancia o la presencia del punto de exposición dentro del área de emergencia aumenta significativamente la probabilidad de impacto.	7 puntos : Dentro del área de emergencia o Distancia corta (entre a 0 a 300 m). 5 puntos : Distancia relativamente cercana (entre 300 m a 1 km) 3 puntos : Distancia relativamente cercana (entre 1 a 5 km) 1 puntos : Distancia media (> 5 km).
	Usos en el punto de exposición	3	Este factor evalúa el tipo de uso del punto de exposición, considerando la importancia y relevancia que tiene para la comunidad y el entorno humano. Los puntos con usos más críticos y esenciales para la comunidad recibirán una puntuación más alta.	3 puntos : Centro poblado o punto de captación de agua (uso crítico y esencial). 1 puntos : Zonas de cultivo, caza, pesca, recolección, pastoreo (uso productivo menor), zona de recreación (ej., playas recreativas, parques). 0 puntos : Ningún uso relevante.

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
	Frecuencia de uso del punto de exposición	2	Este factor mide la frecuencia con la que los receptores utilizan o visitan el punto de exposición. Cuanto más frecuente sea el uso, mayor será la probabilidad de exposición en caso de que ocurra un evento de contaminación.	2 puntos : Uso constante (ej., visitas diarias o uso continuo, como en centros urbanos y áreas vitales). 1 puntos : Uso ocasional (ej., visitas mensuales). 0 puntos : Uso esporádico (ej., eventos ocasionales, visitas anuales).
	Cantidad de vías de exposición viables en el punto de exposición	3	Este factor mide cantidades de las principales vías de exposición (dérmica, inhalación e ingestión) son viables en el punto de exposición. Cuantas más vías de exposición estén presentes, mayor será el riesgo de afectación.	3 puntos : Tres vías de exposición viables (dérmica, inhalación e ingestión). 2 puntos : Dos vías de exposición viables (ej., contacto dérmico e inhalación). 1 punto : Una única vía de exposición viable (ej., solo contacto dérmico).
Vulnerabilidad	Receptores sensibles	2	Este factor evalúa si el punto de exposición incluye poblaciones vulnerables, como niños, ancianos, hospitales, escuelas y áreas residenciales. Las áreas que incluyen estos receptores tienen una mayor vulnerabilidad y, por lo tanto, un riesgo más alto en caso de una emergencia ambiental.	2 puntos : Presencia de receptores altamente sensibles, como escuelas, hospitales, guarderías y áreas con alta concentración de niños y ancianos. 1 puntos : Se desconoce. 0 puntos : No hay receptores sensibles (ej., áreas industriales o comerciales con bajo riesgo de afectación).
	Población vulnerable (socioeconómico).	2	Este factor evalúa si el punto de exposición incluye a poblaciones en situación de vulnerabilidad socioeconómica.	2 puntos : Población rural de selva (comunidad nativa, no contactados o aislados.) 1 puntos : Población rurales en sierra o costa

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
				0 punto : Sin población vulnerable

1.10.2.3.2 Receptor ecosistema:

Tabla 3.5 Factores de puntuación de los receptores ecológicos de la sustancia liberada

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
Exposición conocida	Estado del Ecosistema	12	Este factor evalúa la condición observable del ecosistema en el punto de exposición, priorizando la afectación a servicios ecosistémicos críticos y considerando evidencias visuales como la mortandad de flora/fauna. Refleja la vulnerabilidad del ecosistema ante la emergencia ambiental y su capacidad de proveer servicios esenciales.	12 puntos - Impactos severos en servicios ecosistémicos esenciales (agua, alimentos, recreación) que afectan directamente a la economía local o a la salud humana. Evidencia de mortandad de especies (flora/fauna) causada por contacto con el contaminante. 10 puntos - Afectación significativa en servicios ecosistémicos esenciales (agua, alimentos, recreación), pero sin mortandad directa observable de flora/fauna. Incluye antecedentes de especies afectadas por contacto con el contaminante. 6 puntos - Afectación en servicios ecosistémicos no críticos: Impactos observados en servicios de regulación o culturales (paisaje, ciclos biogeoquímicos como carbono/nitrógeno). No compromete directamente el bienestar humano ni la economía local. No hay mortandad observable. 0 puntos - Sin afectación observable en el ecosistema: No se identifican impactos confirmados o sospechosos en los servicios ecosistémicos, flora o fauna.
Potencial de exposición	Distancia entre el área afectada y el punto de exposición	10	Este factor mide la distancia entre el área afectada y el punto de exposición. Una menor distancia o la presencia del punto de exposición dentro del área de emergencia aumenta significativamente la probabilidad de impacto.	10 puntos : Distancia corta (entre a 0 a 300 m). 6 puntos : Distancia relativamente cercana (entre 300 m a 1 km) 4 puntos : Distancia media (entre 1 a 5 km). 1 punto : Distancia mayor a 5 km

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
	Servicios Ecosistémicos Relevantes para el Hombre	10	Evalúa la importancia de los servicios ecosistémicos que impactan directamente en la economía de los centros poblados en la zona.	10 puntos: Servicios Críticos para el Hombre: Áreas que proporcionan servicios esenciales para la vida y la economía local, como: Provisión de agua potable. Producción de alimentos básicos (pesca, caza, agricultura, ganadería). Recursos indispensables para actividades económicas (recolección, forestales). Zonas que representan un pilar clave para la subsistencia y seguridad de las comunidades. 5 punto: Servicios Relevantes, pero No Críticos: Áreas que ofrecen beneficios importantes, pero no esenciales, como: Recreación y turismo. Recursos estéticos o culturales (paisajes significativos, patrimonio natural). Regulación parcial de recursos que impactan actividades económicas indirectamente. 0 puntos: Servicios de Baja Importancia o Nulos: Áreas con servicios ecosistémicos que tienen un impacto bajo o indirecto en la calidad de vida humana, como: Regulación secundaria de ciclos naturales. Recursos que no son utilizados activamente por las comunidades humanas cercanas.
Vulnerabilidad	Receptores sensibles	2	Evalúa si el punto de exposición se encuentra en áreas reconocidas administrativamente como ecosistemas frágiles o áreas naturales protegidas, considerando su importancia para la	2 puntos : Zona dentro de un Área Natural Protegida. El punto de exposición está dentro de un área oficialmente reconocida como protegida (reservas nacionales, santuarios, parques naturales, otros). 1 puntos : Se advierten especies (flora y fauna) protegidas.

Grupo	Factor	Peso	Definición	Categorías de puntuación
			conservación y el equilibrio ambiental.	0 puntos : El punto de exposición no ocupa áreas de áreas naturales protegidas.

1.10.3 Explicación del cálculo de la probabilidad de ocurrencia

La probabilidad de ocurrencia (p) de una ruta de exposición se calcula sumando y multiplicando los factores correspondientes a cada uno de los elementos de la ruta: **Foco de Contaminación**, **Mecanismo de Transporte** y **Punto de Exposición**. Este enfoque permite estimar la probabilidad de que una ruta se materialice considerando las características específicas de cada elemento.

1.10.3.1 Fórmula General:

La fórmula para calcular la probabilidad es:

$$p = Foco\ de\ Contaminación + Mecanismo\ de\ Transporte + Punto\ de\ Exposición$$

1.10.3.2 Foco de contaminación

La puntuación de este elemento se calcula sumando los puntajes de cinco factores predefinidos. La fórmula es:

$$Foco\ de\ contaminación = FC_1 + FC_2 + FC_3 + FC_4 + FC_5$$

Donde:

FC_1: factor Peligrosidad del contaminante

FC_2: factor Área afectada

FC_3: factor Cantidad de sustancia

FC_4: factor Coeficiente ECA

FC_5: factor In-Situ de Contaminación y Salud

Los valores y pesos específicos de estos factores están definidos en la metodología.

1.10.3.3 Mecanismo de Transporte

El cálculo de este elemento depende del tipo de mecanismo que conecta el foco de contaminación con el punto de exposición. Cada tipo tiene una fórmula específica:

1.10.3.3.1 Sin necesidad de transporte

Fórmula:

$$Mecanismo\ de\ transporte = MT_1$$

Donde:

MT_1: Factor Superposición espacial.

1.10.3.3.2 Escorrentía superficial

Fórmula:

$$Mecanismo\ de\ transporte = MT_1 \times MT_2 \times (MT_3 + MT_4 + MT_5)$$

Donde:

MT_1: Factor Superposición espacial.

MT_2: Existencia de barreras de contención.

MT_3: Capacidad del contaminante para ser transportado por escorrentía.

MT_4: Precipitación y clima.

MT_5: Condiciones del terreno

1.10.3.3.3 Agua subterránea

Fórmula:

$$Mecanismo\ de\ transporte = MT_1 \times (MT_2 + MT_3 + MT_4)$$

Donde:

MT_1: Verificación de conexión hídrica subterránea

MT_2: Capacidad del contaminante para ser transportado por agua subterránea

MT_3: Profundidad del acuífero

MT_4: Factor de Textura del Suelo afectado

1.10.3.3.4 Cadena trófica

Fórmula:

$$Mecanismo\ de\ transporte = (MT_1 + MT_2)$$

Donde:

MT_1: Capacidad de bioacumulación del contaminante

MT_2: Movilidad en el ecosistema (compartimentos afectados)

1.10.3.3.5 Viento

Fórmula:

$$Mecanismo\ de\ transporte = MT_1 + MT_2$$

Donde:

MT_1: Conectividad aérea

MT_2: Capacidad de dispersión en el aire

1.10.3.3.6 Transporte por cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, lagunas y mar)

Fórmula:

$$Mecanismo\ de\ transporte = MT_1 \times MT_2 \times\ MT_3$$

Donde:

MT_1: Dirección del Transporte en relación con el punto de exposición

MT_2: Existencia de Barreras de contención

MT_3: Capacidad de Movilización del Contaminante

1.10.3.4 Punto de exposición

La puntuación del punto de exposición depende del tipo de receptor afectado. Cada tipo tiene un conjunto de factores con un punto con una fórmula específica:

1.10.3.4.1 Receptor humano (salud)

Fórmula:

$$Punto\ de\ exposición = PE_1 + PE_2 + PE_3 + PE_4 + PE_5 + PE_6 + PE_7$$

Donde:

PE_1: Factor exposición conocida

PE_2: Factor distancia entre el área afectada y el punto de exposición

PE_3: Factor usos en el punto de exposición

PE_4: Factor frecuencia de Uso del Punto de Exposición

PE_5: Factor cantidad de Vías de Exposición Viables (Dérmica, Inhalación e Ingestión) en el punto de exposición

PE_6: Factor receptores sensibles

PE_7: Factor población vulnerable (socioeconómico).

1.10.3.4.2 Receptor ecosistema

Fórmula:

$$Punto\ de\ exposición = PE_1 + PE_2 + PE_3 + PE_4 + PE_5$$

Donde:

PE_1: Factor exposición conocida

PE_2: Factor distancia entre el área afectada y el punto de exposición

PE_3: Factor usos en el punto de exposición

PE_5: Factor cantidad de Vías de Exposición Viables (Dérmica, Inhalación e Ingestión) en el punto de exposición

PE_6: Factor receptores sensibles

1.10.3.5 Resultado Final

La probabilidad total p se calcula sumando las contribuciones de los tres elementos:

$$p = Foco\ de\ Contaminación + Mecanismo\ de\ Transporte + Punto\ de\ Exposición$$

El valor resultante se normaliza en una escala de 0 a 100, proporcionando una medida clara y comparable de la probabilidad de ocurrencia para cada ruta de exposición. Esto permite priorizar rutas en función de su probabilidad de materialización y orientar las decisiones hacia la mitigación de riesgos más críticos.

1.11 Evaluación del impacto potencial

La evaluación del impacto potencial de una ruta de exposición se centra en determinar la magnitud de las consecuencias si esta se materializa. Este componente considera dos tipos de receptores principales: Receptor Humano y Receptor Ecosistema, utilizando métricas específicas para cada uno. La evaluación se realiza mediante un sistema de puntuación que permite categorizar el impacto en niveles como mínimo, moderado, serio, elevado o grave.

1.11.1 Receptor Humano: Cantidad de Personas Expuestas

Para los receptores humanos, el impacto potencial se evalúa exclusivamente en función de la cantidad de personas expuestas en el punto de exposición evaluado. Esta aproximación permite una evaluación rápida y práctica, basada en datos que pueden obtenerse fácilmente en el contexto de una emergencia ambiental.

Tabla 3.6 Categorías de Impacto para Receptores Humanos:

Rango de Personas Expuestas	Impacto	Puntaje
1 a 10	Mínimo	1
11 a 50	Moderado	2
51 a 100	Elevado	3
101 a 1000	Grave	4
>1000	Muy grave	5

- **Definición del Impacto:**
  - **Mínimo:** Exposición de un número muy reducido de personas, con efectos limitados.
  - **Moderado:** Exposición de un grupo más amplio, potencialmente involucrando a una comunidad pequeña.
  - **Elevado:** Exposición significativa, con posible afectación a una comunidad.
  - **Grave:** Exposición extensa con impacto masivo en zonas pobladas.
  - **Muy grave:** Afectación a grandes comunidades o ciudades.

El puntaje obtenido de esta evaluación se utiliza posteriormente en la fórmula de riesgo, al combinarlo con la probabilidad de ocurrencia.

1.11.2 Receptor Ecosistema: Área de Ecosistema Potencialmente Expuesto

Para los receptores ecosistema, el impacto potencial se evalúa en función del área del ecosistema potencialmente expuesto. Esta métrica permite considerar las consecuencias ambientales en términos de superficie afectada, lo que facilita una evaluación rápida en emergencias.

Tabla 3.7 Categorías de Impacto para Receptores Ecosistema:

Área Potencialmente Expuesta (hectáreas)	Impacto	Valor
<1	Mínimo	1
1 a 5	Moderado	2
5 a 10	Elevado	3

Área Potencialmente Expuesta (hectáreas)	Impacto	Valor
10 a 20	Grave	4
>20	Muy grave	5

Definición del Impacto:

- **Mínimo:** Afectación localizada en un área muy pequeña.
- **Moderado:** Daño en un área limitada de importancia moderada.
- **Elevado:** Alteración significativa de un ecosistema mediano.
- **Grave:** Daño extenso que compromete ecosistemas importantes.
- **Muy Grave:** Destrucción o daño severo a ecosistemas críticos y extensos.

El puntaje calculado para los receptores ecosistema también se integra en la fórmula de riesgo junto con la probabilidad de ocurrencia.

1.12 Determinación del nivel de riesgo

La determinación del nivel de riesgo integra los valores de **probabilidad de ocurrencia** (p) e **impacto potencial** (c) para cada ruta de exposición. Este proceso sigue los pasos descritos a continuación, incluyendo la conversión del puntaje de probabilidad a una escala de 1 a 5 y la integración del puntaje de impacto.

1.12.1 Pasos para Determinar el Nivel de Riesgo

1.12.2 Conversión del Puntaje de Probabilidad

El puntaje de probabilidad (p), calculado previamente en una escala de 0 a 100, se traduce a una escala de 1 a 5 utilizando los siguientes rangos:

Tabla 3.8 Conversión del Puntaje de Probabilidad

Puntaje de Probabilidad (p)	Escala de Probabilidad	Categoría de Probabilidad
1 a 20	1	Improbable
21 a 40	2	Poco probable

Puntaje de Probabilidad (p)	Escala de Probabilidad	Categoría de Probabilidad
41 a 60	3	Moderadamente probable
61 a 80	4	Probable
81 a 100	5	Muy probable

Ejemplo: Si el puntaje de probabilidad p es 45, su escala de probabilidad será 3, categorizada como **Moderadamente probable**.

1.12.3 Determinación del Puntaje de Impacto

El puntaje de impacto (c), obtenido en la evaluación del impacto potencial, ya está asignado directamente en una escala de 1 a 5, basada en los factores evaluados (número de personas expuestas para receptores humanos, área potencialmente afectada para receptores ecosistémicos). Este valor se emplea directamente en el cálculo del nivel de riesgo.

Ejemplo: Si el impacto potencial en un receptor humano corresponde a una afectación **elevada**, el puntaje de impacto será c=4.

1.12.4 Cálculo del Nivel de Riesgo (R)

Una vez obtenidos el valor de probabilidad (p) y el impacto (c), el nivel de riesgo se calcula utilizando la fórmula general del riesgo:

$$R = p \times c$$

Donde:

- R= nivel de riesgo
- p: es el valor convertido de probabilidad (escala del 1 a 5).
- c es el valor del impacto (escala del 1 a 5).

Ejemplo: Si p=3 (moderadamente probable) y c=4 (impacto elevado), entonces R=3×4=12.

1.12.5 Clasificación del Nivel de Riesgo

En el marco de los criterios para la DEA, el valor de R se clasifica en niveles de riesgo según los siguientes rangos:

Tabla 3.9 Clasificación del nivel de riesgo

Rango del Nivel de Riesgo (R)	Categoría de Riesgo	Descripción
1 a 8	Bajo	Riesgo de afectación poco probable o mínimo que no causa un efecto significativo. Se requiere monitoreo y seguimiento.
9 a 16	Medio	Riesgo de afectación moderado que podría causar un efecto significativo si no se toman las medidas adecuadas. Se requiere acciones, monitoreo y seguimiento.
17 a 25	Alto	Riesgo de afectación probable que causa un efecto significativo. Se requiere acciones inmediatas y una evaluación detallada para su implementación, así como monitoreo y seguimiento hasta que el riesgo se reduzca a un nivel bajo.

Ejemplo: Un R=12 se clasificaría como **Medio**.

1.12.6 Representación Gráfica

Para facilitar la interpretación, los valores de R pueden visualizarse en una matriz de riesgo, combinando probabilidad (filas) e impacto (columnas):

Tabla 3.10 Matriz de riesgo

Probabilidad ↓ / Impacto →	**Mínimo (1)**	**Moderado (2)**	**Elevado (3)**	**Grave (4)**	**Muy Grave (5)**
Improbable (1)	Bajo (1)	Bajo (2)	Bajo (3)	Bajo (4)	Bajo (5)
Poco probable (2)	Bajo (2)	Bajo (4)	Bajo (6)	Bajo (8)	Medio (10)
Moderadamente probable (3)	Bajo (3)	Bajo (6)	Medio (9)	Medio (12)	Medio (15)
Probable (4)	Bajo (4)	Bajo (8)	medio (12)	Medio (16)	Alto (20)
Muy probable (5)	Bajo (5)	Medio (10)	Medio (15)	Alto (20)	Alto (25)

1.12.7 Aplicaciones del Nivel de Riesgo

Identificación de Rutas Críticas: Las rutas con **alto riesgo** justifican la necesidad de medidas urgentes.

Priorización: Las rutas clasificadas como **medio riesgo** requieren monitoreo y acciones estratégicas, mientras que las de **bajo riesgo** se manejan de manera preventiva.

Declaratoria de Emergencia Ambiental: Según el artículo 9 de la Ley Nº 32106, basta con identificar una sola ruta de alto riesgo para sustentar la declaratoria.

Esta categorización asegura una respuesta lógica y estructurada, alineada con los objetivos regulatorios y las mejores prácticas en gestión de emergencias ambientales.

Procedimiento de aplicación

1.13 Integración en el procedimiento de DEA

La presente metodología se aplicará como parte del proceso de evaluación de una solicitud de declaratoria de emergencia o como de oficio por parte de Minam. Considerando el flujograma de actividades consideradas en el Reglamento de la Ley 32106.

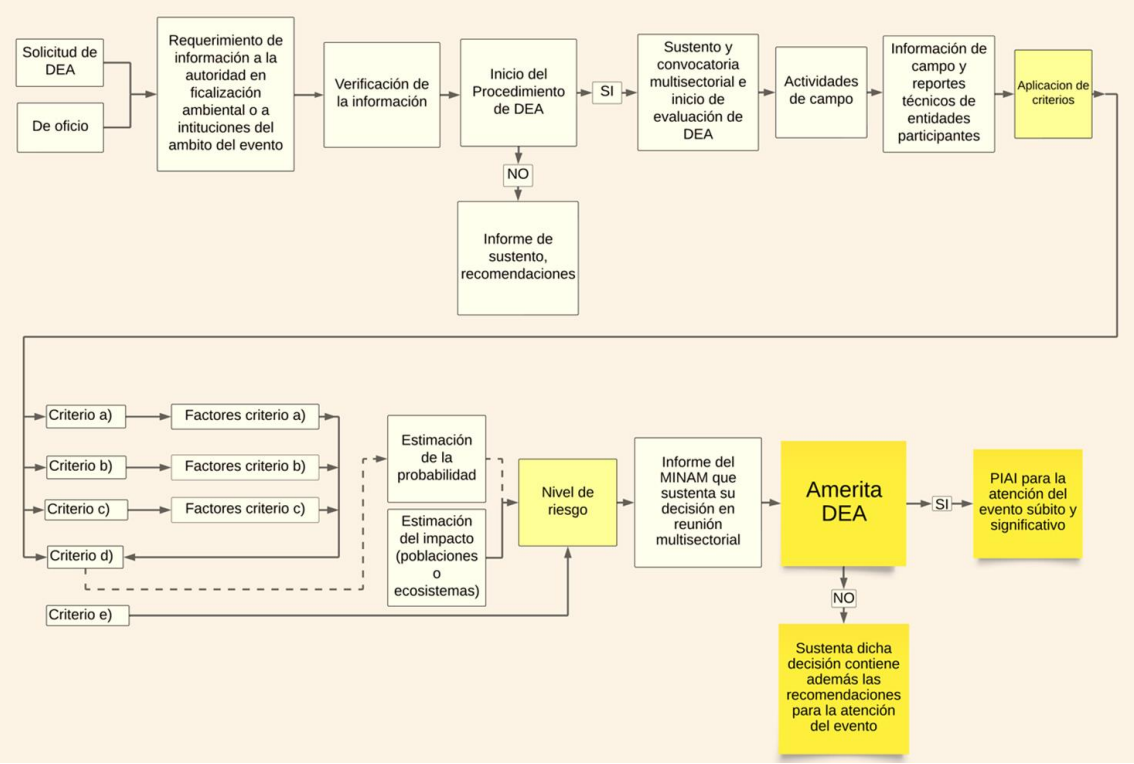

Figura 4.1. Flujograma de actividades consideradas en el Reglamento de la Ley 32106

1.14 Secuencia Lógica para la aplicación de metodología de la evaluación de los criterios para la declaratoria de emergencia ambiental

El procedimiento de aplicación de la metodología sigue una **secuencia lógica estructurada** que asegura la correcta identificación, evaluación y priorización de las

rutas de exposición en una emergencia ambiental. A continuación, se describe esta secuencia, mejorando y complementando el esquema presentado:

1.14.1 Inventario Inicial

Identificación de Puntos de Exposición y Focos de Contaminación: Se realiza un levantamiento de información preliminar sobre las posibles fuentes contaminantes y los puntos de exposición. Esto incluye:

- Caracterización del foco de contaminación (naturaleza del contaminante, cantidad, peligrosidad).
- Identificación de receptores humanos y ecosistemas potencialmente afectados.

1.14.2 Evaluación de Mecanismos de Transporte Viables

Verificación de Conexiones Ambientales:

Se evalúa si existen mecanismos de transporte entre los focos de contaminación y los puntos de exposición. Esto implica:

- Identificación de rutas viables (ej., escorrentía superficial, agua subterránea, viento).
- Aplicación de criterios específicos para confirmar la viabilidad del transporte.

1.14.3 Construcción del Modelo Conceptual

Mapeo de Rutas de Exposición:

Se representa gráficamente cada ruta viable, describiendo los elementos clave (foco, transporte, exposición). Este paso permite visualizar las posibles interacciones entre contaminantes y receptores.

1.14.4 Evaluación de la Probabilidad de Ocurrencia

Cálculo del Puntaje de Probabilidad:

Se aplica el sistema de puntuación definido para cada factor de los elementos de la ruta (foco, transporte, punto de exposición).

- Conversión del puntaje total en la escala de probabilidad (1 a 5).

1.14.5 Evaluación del Impacto Potencial

Determinación del Impacto:

Se evalúa la magnitud de las consecuencias en caso de que la ruta se materialice:

- Número de personas expuestas (para receptores humanos).
- Área afectada (para ecosistemas).

- Asignación del puntaje de impacto en la escala de 1 a 5.

1.14.6 Cálculo del Nivel de Riesgo

Integración de Probabilidad e Impacto:

Se aplica la fórmula $R=p\times c$ para calcular el nivel de riesgo de cada ruta.

- Clasificación del nivel de riesgo en **bajo, medio o alto**.

1.14.7 Priorización y Gestión de Rutas de Exposición

Identificación de Rutas Críticas:

Las rutas con riesgo **alto** se priorizan para la intervención inmediata.

- Rutas de riesgo medio o bajo se monitorean y gestionan según su relevancia.

Indicadores de resultados

Los indicadores de resultados son esenciales para resumir y presentar la información obtenida a través de la metodología de evaluación, permitiendo tomar decisiones informadas. Estos indicadores reflejan la cantidad y el nivel de riesgo asociado a las rutas de exposición identificadas, proporcionando una visión integral del estado de riesgo en el contexto de la emergencia ambiental.

1.15 Cantidad de rutas identificadas

Este indicador resume el total de rutas de exposición identificadas en el proceso de evaluación, clasificándolas según los elementos clave: foco de contaminación, mecanismo de transporte y punto de exposición.

Propósito: Determinar la diversidad y complejidad de las rutas que podrían representar un riesgo.

Presentación:

- Gráficos o tablas que detallen las rutas clasificadas por tipo de mecanismo de transporte y tipo de receptor (salud humana o ecosistemas).
- Cantidad total de rutas que cumplan con los criterios de evaluación para ser consideradas viables.

1.16 Clasificación de rutas por niveles de riesgo

Una vez que se calcula el nivel de riesgo para cada ruta utilizando la fórmula de probabilidad por impacto, las rutas se clasifican según su nivel de riesgo: alto, medio o bajo.

Propósito: Priorizar las rutas de mayor riesgo para su atención inmediata.

Criterios de Clasificación: De acuerdo con los rangos establecidos para los niveles de riesgo y tomando en cuenta el receptor. Podrán ser:

- **Alto Riesgo:** Estas rutas requieren atención prioritaria. Serían la motivación para una DEA.
- **Riesgo Medio:** Rutas que presentan un riesgo moderado. Pueden requerir acciones, monitoreo y seguimiento.
- **Bajo Riesgo:** Rutas con niveles de riesgo mínimo, que se monitorean para prevenir agravaciones futuras.

Presentación: Gráficos de barras o diagramas de pastel que muestren la distribución porcentual de rutas por nivel de riesgo.

Resumen numérico de rutas por nivel de riesgo, separadas por receptor humano y ecosistemas.

Aspectos Condicionales

En caso el origen de la contaminación de la emergencia ambiental configure el supuesto del criterio e) del artículo 9 de la Ley 32106, afectación a población o contaminación del ambiente en territorios transfronterizos cuyo impacto afecte en el territorio nacional: Se considerará la declaratoria de emergencia ambiental a partir de la clasificación de riesgo MEDIO, identificadas en alguna de las rutas de exposición analizadas. Esto debido a que, si bien este nivel de riesgo es moderado, las acciones, monitoreo y seguimiento, no se podrán implementar en los territorios transfronterizos, y requieren de coordinaciones binacionales para su atención.

Limitaciones de la Metodología

Disponibilidad de Información Inicial:

La metodología depende en gran medida de datos iniciales como la ubicación de focos de contaminación, características de los contaminantes y mapas de rutas de transporte. La ausencia o insuficiencia de estos datos puede afectar la precisión de los resultados.

Carácter Cualitativo en Entornos de Emergencia:

Dado que las emergencias ambientales suelen requerir decisiones rápidas, los factores y puntajes utilizados son aproximaciones basadas en juicios expertos y análisis cualitativos. Esto puede limitar la objetividad en comparación con una evaluación completamente cuantitativa.

Adaptabilidad a Escenarios No Considerados:

Aunque la metodología se diseñó para diversos escenarios, pueden surgir emergencias con características únicas (por ejemplo, contaminantes no evaluados o mecanismos de transporte inusuales) que requieran adaptaciones adicionales.

Capacitación y Familiarización:

La correcta aplicación de la metodología requiere personal capacitado y familiarizado con el enfoque y las herramientas utilizadas, lo que puede representar un desafío en áreas con recursos humanos limitados.

Recomendaciones para Mejorar la Aplicación

Actualización de Factores y Pesos:

La metodología debe ser revisada y actualizada periódicamente para incluir nuevos conocimientos científicos, cambios regulatorios y lecciones aprendidas de emergencias previas.

Integración de Datos Geográficos y Tecnológicos:

Se sugiere emplear sistemas de información geográfica (SIG) y herramientas de modelación ambiental para mejorar la precisión de los modelos conceptuales y las evaluaciones de rutas de exposición.

Clarificación de Roles y Responsabilidades

Es fundamental establecer un protocolo claro que defina las funciones de cada institución involucrada en la gestión de emergencias ambientales, alineando las acciones específicas con las rutas de exposición identificadas. La metodología propuesta, que se basa en la identificación de rutas de exposición mediante un modelo conceptual, ofrece herramientas clave para abordar desafíos comunes en la gestión multisectorial de emergencias ambientales.

La elaboración del modelo conceptual y la identificación de rutas de exposición proporcionan una visión estructurada y detallada de cómo interactúan los focos de contaminación, los mecanismos de transporte y los puntos de exposición. Este enfoque permite:

Evitar Superposiciones de Funciones: En contextos donde varias instituciones tienen competencias relacionadas con la gestión ambiental, puede haber confusión o duplicidad en la asignación de responsabilidades. La metodología, al identificar y caracterizar claramente las rutas de exposición, facilita que cada institución asuma un rol específico y complementario dentro del proceso de atención a la emergencia. Por ejemplo, una institución puede centrarse en contener la fuente del contaminante mientras otra evalúa los impactos en los receptores.

Identificar Vacíos en la Gestión: En algunos casos, puede ocurrir que una ruta de exposición no se relacione directamente con las funciones definidas de ninguna institución, lo que puede llevar a omisiones críticas en la respuesta a la emergencia. La metodología ayuda a visualizar estas rutas de exposición no cubiertas y promueve el

establecimiento de responsabilidades específicas o la creación de mecanismos de coordinación para abordarlas.

Optimizar la Coordinación Interinstitucional: Al delimitar claramente las interacciones entre contaminantes, mecanismos de transporte y receptores, el modelo conceptual permite que las instituciones trabajen de manera complementaria y coordinada. Por ejemplo, una autoridad ambiental puede liderar la identificación del foco contaminante, mientras que las entidades de salud pública y conservación del ecosistema se enfocan en evaluar los impactos en los receptores humanos y ecológicos, respectivamente.

Fortalecer la Gestión Integral de Emergencias: La claridad en las rutas de exposición permite asignar recursos y responsabilidades de manera eficiente, evitando duplicidades y asegurando que todas las dimensiones del problema sean abordadas. Además, la metodología facilita la integración de acciones preventivas y correctivas, lo que mejora la capacidad de respuesta ante emergencias ambientales.

Promover la Transparencia y la Rendición de Cuentas: Al definir roles claros y específicos, la metodología refuerza la transparencia en la gestión de la emergencia, asegurando que las instituciones involucradas sean responsables de sus respectivas tareas y decisiones. Esto también genera confianza entre las comunidades afectadas y otros actores involucrados.

En resumen, la identificación de rutas de exposición a través del modelo conceptual no solo es una herramienta técnica para evaluar riesgos, sino que también actúa como una guía estratégica para organizar y coordinar los esfuerzos interinstitucionales, asegurando una respuesta más efectiva y alineada con las prioridades de la emergencia.

Escenario de No DEA

Incluso si no se identifican rutas de alto riesgo y no corresponde la DEA, la información obtenida durante la aplicación de la metodología es clave para la gestión de la emergencia a través de otros mecanismos de atención. Estos datos permiten implementar acciones correctivas específicas, como contención de contaminantes o mitigación de impactos sobre los receptores identificados, asegurando que la emergencia sea atendida de manera adecuada.

Además, esta información puede integrarse en sistemas de monitoreo continuo para observar cambios en las condiciones ambientales o planificar futuras intervenciones. Al documentar las evaluaciones realizadas, se fortalece la coordinación interinstitucional, se asegura la trazabilidad de las acciones y se prepara un referente valioso para futuras emergencias similares.

Adaptación Contextual:

La metodología debe permitir cierta flexibilidad para adaptarse a contextos locales y emergencias particulares, sin comprometer su estructura ni objetivos.

Difusión del Proceso y Resultados:

Es esencial comunicar los resultados de la metodología y las decisiones tomadas a las comunidades afectadas, promoviendo la transparencia y confianza en la gestión de la emergencia.

Este enfoque permitirá que la metodología evolucione y se adapte a las necesidades dinámicas de la gestión de emergencias ambientales.

Anexos

a) Ficha de recojo de información
b) Matriz de cálculos
c) Listado de sustancias tóxicas (lista de la CCME, *Canadian Council of Ministers of the Environment, 2008*[5]*, por sus siglas en inglés*).

[5] Table VI. 1 – Contaminant Hazard Ranking - APPENDIX VI REFERENCE MATERIAL – CCME National Classification System for Contaminated Sites, Guidance Document. PN 1403 – 2008.