

Guía Metodológica

Para el Análisis de Riesgo de las Actividades de Exploración y Explotación del sector Hidrocarburos.



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA



TABLA DE CONTENIDO

Introducción	9
1. Generalidades	13
1.1. Definiciones	13
1.2. Alcance de la guía	20
1.3. Marco conceptual	21
1.3.1. Análisis de amenaza.....	22
1.3.2. Análisis de vulnerabilidad.....	23
1.3.3. Análisis del riesgo.....	23
1.3.3.1. Riesgo individual.....	24
1.3.3.2. Riesgo social.....	24
1.3.3.3. Riesgo ambiental.....	24
1.3.3.4. Riesgo Socioeconómico.....	24
1.3.4. Aceptabilidad del riesgo.....	24
2. Área de Estudio	28
2.1. Información Cartográfica	28
2.1.1. Fuentes.....	28
2.1.2. Especificaciones.....	28
2.2. Información secundaria	29
2.2.1. Medio Abiótico.....	29
2.2.1.1. Fuentes.....	30
2.2.2. Medio Biótico.....	32
2.2.2.1. Fuentes.....	32

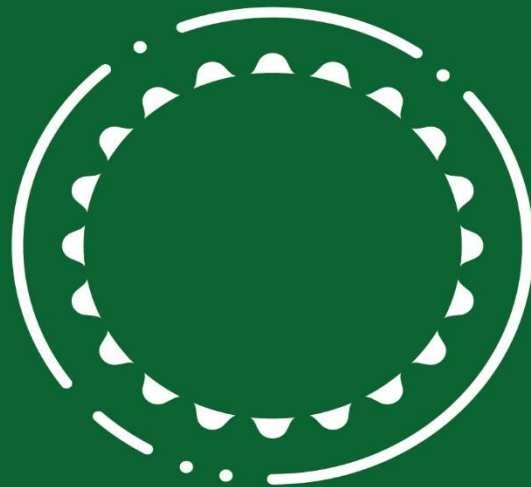
2.2.3. Medio Socioeconómico	33
2.2.3.1. Fuentes	33
3. Análisis de Amenaza	37
3.1. Identificación de eventos Amenazantes	37
3.1.1. Categorización de los eventos amenazantes	37
4. Análisis de vulnerabilidad.....	42
4.1. Elementos expuestos.....	42
4.1.1. Clasificación elementos expuestos	43
4.1.2. Índices de importancia de los elementos expuestos para evaluar las consecuencias.....	44
5. Análisis de riesgo	49
5.1. Riesgo individual.....	60
5.2. Riesgo ambiental.....	61
5.3. Riesgo social	62
5.4. Riesgo socioeconómico	63
5.5. Aceptabilidad del riesgo	64
Recomendaciones	68
Bibliografía.....	71

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Criterios de Precisión</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2. Fuentes de información para el componente abiótico</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Fuentes de información para el componente biótico.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Fuentes de información para el componente socioeconómico.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5. Categorización eventos amenazantes.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6. Eventos amenazantes para el análisis cuantitativo en las etapas de exploración y explotación de hidrocarburos.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7. Formato de campo para la identificación de fallas en equipos</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 8. Identificación y caracterización de los elementos expuestos.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9. Clasificación de elementos expuestos.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 10. Índices de importancia elementos expuestos</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 11. Fallas identificadas para el equipo “carrotanque”</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 12. Efectos de las fallas identificados para el equipo “carrotanque”</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 14. Límites de aceptabilidad del riesgo</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 15. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo individual</i>	<i>65</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama conceptual de la investigación</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2. Ejemplo de la red bayesiana</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. Ventana de trabajo del software GeNle 3.0 Academic</i>	<i>54</i>
<i>Figura 4. Herramienta para añadir nodos al lienzo de trabajo</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5. Interfase de definición de probabilidades</i>	<i>55</i>
<i>Figura 6. Herramienta para añadir arcos al lienzo de trabajo</i>	<i>56</i>
<i>Figura 7. Unión de nodos y arcos</i>	<i>56</i>
<i>Figura 8. Sección de la red bayesiana para los efectos de falla del equipo “carrotanque”</i>	<i>58</i>
<i>Figura 9. Red bayesiana de análisis de riesgo para un carrotanque</i>	<i>59</i>
<i>Figura 10. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un carrotanque</i>	<i>60</i>
<i>Figura 11. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un carrotanque.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 12. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un carrotanque.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 13. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un carrotanque....</i>	<i>63</i>



INTRODUCCIÓN



Introducción

Los procesos de exploración, explotación y producción de hidrocarburos están estrechamente relacionados con la presencia de riesgos de tipo tecnológico, si tenemos en cuenta que estos riesgos en Colombia especialmente esta visualizados por la operación de instalaciones industriales y tecnológicas implantadas y dotadas con equipamientos técnicos u obras civiles, y que por lo general esta sujetas a presentar fallas de operación lo que se traduce en situaciones de emergencia, materializando el riesgo a través de los siguientes eventos; incendio, chorro de fuego, explosión derrames y fugas, (IDGRCC, 2018), esto se evidencia a través de la evaluación de datos registrados desde los años 1998 y 2018, para lo cual se tiene un total de 3646 (UNGRD, 2019). por ejemplo en marzo de 2018, un pozo petrolero al norte del país estalló y derramó gran cantidad de crudo en el río Magdalena, causando la muerte de más de 2400 animales entre ellos ganado, peces, aves y reptiles en el departamento de Santander; igualmente más de 1000 especies de árboles de la zona se vieron afectados, varias familias tuvieron que ser reubicadas y tratadas debido a este hecho (Zanchos, 2018).

De acuerdo a lo establecido por la ley 1523 de 2012 y el decreto 2157 de 2017 las entidades gubernamentales son las responsable principalmente en los procesos de gestión de riesgo, los cuales cuentan con (1) conocimiento del riesgo, (2) reducción del riesgo y (3) manejo de desastres (Suarez-Paba et al., 2020); por tal motivo estas instituciones tienen el deber de solicitar a las empresas públicas y privadas la gestión de riesgo de las actividades que desarrollan. Sin embargo, para el sector de hidrocarburo no se cuenta con una metodología

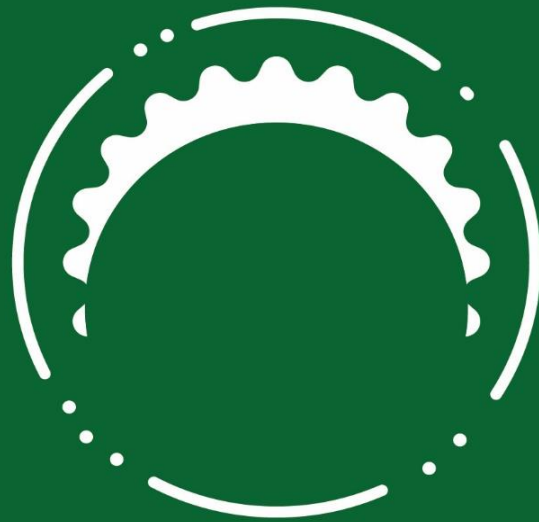
concisa que permita el análisis de los riesgos ambiental, social, socioeconómico e individual para dar cumplimiento con la primera fase de la gestión de riesgo.

En esta guía se describen los lineamientos metodológicos para realizar el análisis de riesgo individual, ambiental, social y socioeconómico, en el sector de hidrocarburos, de manera estandarizada con el fin que sea aplicable a cualquier empresa del sector público y privado que se dediquen a operaciones de exploración, explotación y producción de hidrocarburos líquidos.

El proceso de elaboración de esta guía incluyó las siguientes etapas básicas; como primera, una revisión detallada de la información existente sobre el tema de análisis de riesgo a nivel nacional con el fin de establecer el estado de arte de este en Colombia.

La segunda etapa correspondió a la visita de las áreas donde opera el sector de hidrocarburos, así como la solicitud de información de registros documentados, con el fin de realizar un inventario de la infraestructura y maquinaria, para poder identificar las amenazas y posteriormente identificar y estandarizar los elementos expuestos.

Y por último se procedió a realizar el diseño del documento, el cual está organizado en 8 ítems, el primero correspondiente a la introducción presente, como segundo las generalidades del estudio seguido por las determinaciones de las áreas de estudio y el análisis amenazas y vulnerabilidad, como sexto se especifica de manera clara como se debe realizar el análisis del riesgo, seguido por algunas recomendaciones por parte de los autores y finalmente la bibliografía.



GENERALIDADES

CAPÍTULO UNO



1. Generalidades

1.1. Definiciones

- **Accidente:** Desarrollo de un evento amenazante no esperado, inevitable, intencionado o no, que cause muerte o lesión sobre las personas, daño sobre el ambiente y/o a la propiedad.
- **Activación:** Evento amenazante no esperado, inevitable, intencionado o no, que cause muerte o lesión sobre las personas, daño sobre el ambiente y/o a la propiedad.
- **Afectación:** Producir alteración. Hacer impresión una cosa en otra.
- **Alarma:** Aviso o señal que se da para que se sigan instrucciones específicas, debido a la presencia real o inminente de un evento destructivo.
- **Alerta:** Estado declarado con el fin de tomar precauciones específicas, debido a la probable cercana ocurrencia de un evento catastrófico.
- **Amenaza:** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
- **Análisis de Consecuencias:** Estimación de las consecuencias de eventos usando modelos matemáticos, retorno de experiencias o resultados experimentales. Implica el cálculo de la energía transferida o masa liberada por el evento.
- **Análisis y Evaluación del Riesgo:** Análisis y evaluación del riesgo: Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la

amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.

- **Análisis de Vulnerabilidad:** Valoración del grado de susceptibilidad de un área o elemento determinado, al daño que puede ocasionarle la exposición al efecto de un evento amenazante
- **Antrópico:** De origen humano o de las actividades del hombre.
- **Área de protección:** Área geográfica, compuesta por más de un punto de protección, que, por su sensibilidad ambiental, importancia socioeconómica o cultural, turística o recreacional, amerita protección.
- **Áreas Vulnerables:** Áreas que potencialmente pueden sufrir las consecuencias y efectos adversos provocados por una emergencia o por un accidente en cualquier dependencia.
- **Asentamiento humano:** Persona o grupo de personas localizadas de manera permanente o transitoria, en un lugar físico específico, de acuerdo con la categorización DANE señalada a continuación: municipio, cabecera municipal, resto del municipio, centro poblado, caserío, corregimiento departamental, corregimiento, inspección de policía, resguardo indígena y territorio colectivo de comunidades negras.
- **Asentamiento humano disperso:** Persona o grupo de personas que habitan en fincas y viviendas separadas, entre otros, por áreas cultivadas, prados, bosques, potreros, carreteras o caminos; se dificulta identificarlas y localizarlas.
- **Asentamiento humano nucleado:** Persona o grupo de personas que habitan en caseríos o conjuntos de por lo menos 20 viviendas separadas por paredes, muros, cercas o huertas; y configuran un grupo homogéneo en un determinado espacio.

- **Capacitación:** facultar a una o un grupo de personas para que realicen una labor o actividad definida.
- **Casi accidente:** Evento no deseado que no resulta en pérdida, pero que, bajo circunstancias ligeramente diferentes, pudo haber resultado en lesión a las personas, enfermedad laboral, pérdida de proceso o daño a la propiedad o al ambiente.
- **Causa:** Fundamento u origen de la materialización de un evento iniciante
- **Chorro de fuego (Jet Fire):** Tipo de fuego que se presenta cuando una fuga continua de gases o vapores inflamable altamente presurizada se incendia en o cerca al punto de descarga, produciendo radiación térmica continua.
- **Derecho de Vía:** Área geográfica a lado y lado de una línea o trazado de una línea, en la cual la Empresa propietaria ha constituido un derecho para realizar labores de construcción, operación y mantenimiento de dicha línea.
- **Derrame:** Vertimiento accidental o provocado de un producto líquido que ha estado contenido en un recipiente o un recinto físico. El derrame puede considerarse ajeno a la operación normal o asociado a ella. Un derrame ajeno a la operación normal es aquel sobre el cual no existe posibilidad de control directo del dueño de la operación, como puede ser el derrame causado por un acto de sabotaje o la falla no previsible de un elemento del sistema. Si el derrame ocurre en una parte del sistema que tiene elementos de control, como diques, cajas o cualquier otro medio de control instalado, se considera un derrame propio de la operación. Esta diferencia se manifiesta en la necesidad de reportar el derrame, conforme a los procedimientos establecidos.
- **Desastre:** Daño o alteración graves de las condiciones normales de vida en un área geográfica determinada, causada por fenómenos naturales y por efectos catastróficos de la acción del hombre en forma accidental, que requiera por ello de la especial atención de los organismos del estado y de otras entidades de carácter humanitario o de servicio social.

- **Descarga de hidrocarburo:** Cualquier cantidad NO CONTROLADA de hidrocarburo en forma líquida y/o condensada que gotee o caiga al suelo o a un cuerpo de agua o salga a la atmosfera.
- **Descontaminación:** Quitar la contaminación. Someter a tratamiento lo contaminado, para que pierda sus propiedades nocivas.
- **Dispersión Atmosférica:** Fenómeno físico medial el cual se escribe la variación de concentración de una sustancia en el aire
- **Distancia de afectación:** Distancia a partir del sitio de ocurrencia de un evento amenazante, hasta la cual se pueden generar daños sobre las vidas humanas, infraestructura o el ambiente.
- **Distancia de protección:** Distancia considerada como límite de seguridad, partir de la cual no se generan daños sobre las vidas humanas/ infraestructura / ambiente.
- **Divulgación:** Hacer que todo el personal involucrado en el Plan de contingencia conozca dicho plan identifique su papel dentro del mismo y participe en su implantación e implementación.
- **Escenario de evento amenazante:** Localización geográfica o área física, bajo condiciones meteorológicas específicas en la cual se desencadena a un evento amenazante.
- **Evento amenazante:** Suceso potencial final del desarrollo del evento iniciante. En el caso de un escape de material inflamable se podrían tener eventos amenazantes tales como derrame contaminante, incendio o llamarada. En el caso de derrame de productos líquidos, el derrame es un evento.
- **Evento iniciante:** Liberación de materia y/o energía contenida en un recipiente natural o artificial (Ej.: Escape de gas natural).
- **Evento posible:** Evento que puede suceder o que es factible que suceda.

- **Evento probable:** Evento esperado debido a que existen razones científicas para “creer” que ocurra en un tiempo.
- **Explosión:** Como resultado de un fenómeno físico se describe como la liberación súbita de energía en forma de ondas de presión. También es aplicable a un fenómeno químico, en el que se produce una liberación súbita y violenta de energía química en forma de ondas de presión originadas por una reacción de oxidación con alta velocidad de combustión.
- **Frecuencia:** Es una medida de ocurrencia de sucesos o eventos. En el análisis de riesgo se emplea para determinar la ocurrencia de eventos amenazantes expresada como el número de veces que se presentan por año.
- **Fuga:** Salida accidental de un gas o líquido.
- **Gestión del riesgo:** Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia de este, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. Ley 1523/2012.
- **Grado de Emergencia:** Clasificación que permite determinar el nivel de activación de la respuesta y cantidad de recursos involucrados en la atención de una emergencia.
- **Impacto:** Es la consecuencia directa o indirecta de una amenaza sobre elementos vulnerables (personas, bienes, infraestructura). El lugar donde se presenta el impacto se llama zona de impacto.
- **Incendio de Piscina (Pool Fire):** Se define como un incendio en el cual el substrato en combustión está en posición horizontal, se originan al producirse una fuga o vertido de un combustible líquido sobre el suelo y el exterior.

- **Incidente:** Evento o cadena de eventos no planeados que causaron (accidente) o que pudieron haber causado (casi-accidente) lesión o enfermedad a las personas o a los bienes, la imagen o al ambiente.
- **Intervención:** Medida o acción destinada a modificar determinada circunstancia.
- **Llamarada (Flash Fire):** Tipo de incendio que ocurre cuando una fuga de gas o un vapor inflamable genera una nube que antes de dispersarse completamente tiene contacto con una fuente de ignición, produciendo una llamarada.
- **Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I.):** Corresponde a la mínima proporción de aire y vapor inflamable, expresada como concentración o porcentaje en volumen, necesaria para que ocurra combustión.
- **Límite Inferior de Inflamabilidad Medio (L.I.I. /2):** Corresponde a la mitad del límite inferior de inflamabilidad, en el cual teóricamente no se produce combustión.
- **Límite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.):** Corresponde a la máxima proporción de aire y vapor inflamable, expresada como concentración o porcentaje en volumen necesario, para que ocurra combustión.
- **Limpieza:** Recolección del producto derramado. No significa descontaminación. Limpieza es quitar la afectación. Las acciones de limpieza pertenecen a la mitigación, es decir, la parte operativa de la fase de prevención. Con la limpieza se previene el daño eventual subsiguiente a una afectación que se produciría si no se limpia.
- **Nodo:** equipos o instalaciones que contienen una sustancia peligrosa sobre los cuales se realizará el estudio.
- **Pérdida:** Toda lesión personal o daño ocasionado en la propiedad, el ambiente o al proceso.
- **Permanencia:** Estado que determina, que, ante la ocurrencia de un accidente, se mantendrá una estabilidad que permitirá seguir funcionando.

- **Potencial de Perdida:** Gravedad, magnitud, y frecuencia de las pérdidas que pueden ocasionar un incidente.
- **Probabilidad:** Expresa la ocurrencia de un suceso o evento y se representa por un número adimensional entre 0 y 1 (la probabilidad 1 afirma con certeza la ocurrencia del evento o suceso y la probabilidad 0 indica con certeza la no ocurrencia del evento o suceso).
- **Punto crítico:** Punto geográfico, donde una línea que transporta hidrocarburos cruza un cuerpo de agua o drenaje de importancia.
- **Punto de Interés o Sitio Clave:** Punto o área geográfica, que por ser estratégico dentro del Plan de Contingencia presta un servicio específico de apoyo o sirve de orientación. Es necesario denotarlo en el Plan.
- **Puntos Calientes:** Sitios que por su alta temperatura pueden producir ignición de una nube de vapores.
- **Riesgo:** Probabilidad de daño a las personas, el medio ambiente o bienes.
- **Riesgo Individual:** Probabilidad de daño de un individuo ubicado en un sitio determinado.
- **Riesgo Social:** Posibilidad de daño a un grupo de personas ubicadas en un sitio determinado.
- **Rutas de Derrame:** Trayectoria que sigue un derrame, hasta perder su potencialidad de daño
- **Siniestro:** Es la manifestación concreta del riesgo asegurado, que produce unos daños garantizados en la póliza hasta determinada cuantía.
- **UNGRD:** Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres.
- **UVCE:** Incendio de una nube de vapores no confinada (Unconfined Vapour Cloud Explosion).

- **Vulnerabilidad:** Elementos físicos y biológicos que pueden ser afectados por uno o varios accidentes. Se expresa en términos de porcentaje de afectación desde “no daño” (0% afectación) hasta “pérdida total” (100% afectación).
- **Zona de Riesgo:** Es aquella zona en donde existen los mayores grados de amenaza y, la mayor presencia de personas o bienes, susceptibles de ser afectados.

1.2. Alcance de la guía

Esta guía se diseñó bajo los lineamientos establecidos por la ANLA dentro de su Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, 2018, la Ley 1523 de 2012 (Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.), y el decreto 2157 de 2007 (Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012.), presentando el procedimiento de acuerdo con los conocimientos las capacidades técnicas y tecnológicas que presenta el país para el análisis de riesgo de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.

Lo planteado en esta guía busca estandarizar los procesos para el análisis de riesgo en el sector de hidrocarburos, así como reducir los márgenes de subjetividad, a través de evaluaciones objetivas y cuantitativas de las variables y el uso de procedimientos basados en conceptos estandarizados. Teniendo en cuenta la complejidad de las actividades que involucran el sector de hidrocarburos, en relación con la vulnerabilidad, haciendo una evaluación detallada de los elementos expuestos, analizando cuantitativamente los riesgos expuestos por la ANLA y finalmente, determinando la aceptabilidad del riesgo,

La metodología de análisis de riesgo que aquí se plantea se limita exclusivamente al riesgo derivado de los procesos de exploración y explotación de hidrocarburos en estado líquido, sin tomar en consideración los procesos para hidrocarburos en estado gaseoso. No se tienen en cuenta procesos offshore, solo aplica para proyectos en tierra.

1.3. Marco conceptual

La gestión de riesgo es responsabilidad de las autoridades y de todos los habitantes del territorio, es un proceso social que consta de 3 componentes principales; conocimiento del riesgo (1), reducción del riesgo (2) y manejo de desastres (3), teniendo en cuenta lo anterior el desarrollo conceptual de esta guía se basa en 3 etapas principales, la primera de ellas es el análisis del riesgo, dentro del cual se abordara el análisis de la amenaza, el análisis de la vulnerabilidad y el cálculo del riesgo; como segunda etapa, la evaluación del riesgo operacional que se constituye por el riesgo ambiental, riesgo social, riesgo individual y riesgo económico, y por último la aceptabilidad del riesgo, (Figura 1) .



Figura 1. Diagrama conceptual de la investigación

Fuente: Propia, 2020

Según lo establecido en la ley 1523 de 2012 el análisis de riesgo considera las causas y fuentes del riesgo, así como sus consecuencias y la probabilidad de que dichas

consecuencias puedan ocurrir, relacionando la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos de una manera cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa, y de esta manera poder determinar los posibles efectos económicos, sociales y ambientales, y su probabilidad de ocurrencia. Con el fin de obtener una estimación de los daños y costos asociados, en el caso de la presente guía dichos resultados han sido denominados como cálculo de riesgo en donde a partir de la identificación de amenazas y el análisis de la vulnerabilidad se aplica un análisis cuantitativo.

1.3.1. Análisis de amenaza.

Para el caso de los procesos relacionados a hidrocarburos dentro de esta guía se tienen en cuenta amenazas procedentes de un fenómeno físico de origen natural, antrópico, o natech. Partiendo de, la amenaza es la probabilidad de que un fenómeno físico de origen tecnológico, natural o antrópico ocurra y, a su vez que se manifieste en un sitio y en un periodo de tiempo específico (Maskrey & Cardona, 1993). Estos se pueden presentar con tal severidad para ocasionar pérdida de vidas, lesiones, impactos en la salud, pérdida de bienes, infraestructura, ecosistemas, entre otros (SGC & UNAL, 2016).

Se deben tener en cuenta todas las actividades que comprenden las sub etapas y etapas que se desarrollan dentro de la exploración y explotación de hidrocarburos evaluando que tipo de evento amenazante se está presentando, teniendo en cuenta que; el sector de hidrocarburos tiene consigo como eventos amenazantes la rotura total, parcial o mínima de tubería, fugas, incendios, explosiones, dispersión y/o derrames de crudo, entre otras (Ecopetrol, 2013). Y realizar la categorización de cada uno de estos eventos de acuerdo con su origen, ya sea, natural, antrópico o tecnológico.

1.3.2. Análisis de vulnerabilidad

Está estrechamente relacionado con la materialización de la amenaza y corresponde la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir pérdidas o daños de los seres humanos, sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo en caso de que el evento amenazante se presente (UNGRD, 2017).

Esta vulnerabilidad está dada por la presencia de elementos expuestos los cuales pueden ser afectados por la ocurrencia de un incidente o accidente derivados de las actividades realizadas, fueron tenidos en cuenta aquellos elementos que están dentro del área de influencia de los proyectos del sector de hidrocarburos tomando como elementos expuestos: asentamientos nucleado, asentamientos dispersos, viviendas, cuerpos de agua lóticos y lénticos (artificiales y naturales), centros religiosos, centros deportivos, centros educativos, puntos de captación de agua subterránea y superficial, cultivos, ganadería, industrias, centros médicos, sistema vial, fauna, principalmente.

1.3.3. Análisis del riesgo

Basados en la (ANLA, 2018) y su Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 2157 de 2017, esta guía realiza el análisis y valoración del riesgo operacional teniendo en cuenta que debe ser incluido el análisis de los riesgos individual, social, socioeconómico y ambiental. Y por consecuencia de los procesos industriales que se llevan a cabo dentro de la industria petrolera se evalúan igualmente los riesgos de tipo Natech.

1.3.3.1. Riesgo individual

Se evalúa como probabilidad de muerte de un individuo sin protección, por la exposición a una fuente de peligro en un lugar determinado, este por lo general es expresado en forma de iso-riesgo, es decir, contornos alrededor de la fuente de peligro (Jo & Crowl, 2008).

1.3.3.2. Riesgo social

Este corresponde a un número mayor de muertes que el riesgo individual y es evaluado como la probabilidad de que un grupo de más de X número de personas mueran a causa de un accidente proveniente de una actividad peligrosa (Gong et al., 2020).

1.3.3.3. Riesgo ambiental

Se evalúa de manera cuantitativa para determinar los impactos adversos sobre el medio ambiente de cada una de las actividades de los procesos de la industria petrolera, lo que hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de una situación desfavorable que pueda conllevar a la destrucción de los ecosistemas, y con esto la desaparición paulatina de las poblaciones de fauna y flora, la pérdida de calidad de vida, los recursos naturales, la afectación de la energía y el clima, debido a la actividad económica, desarrollada en un área determinada (Zotin et al., 2018)

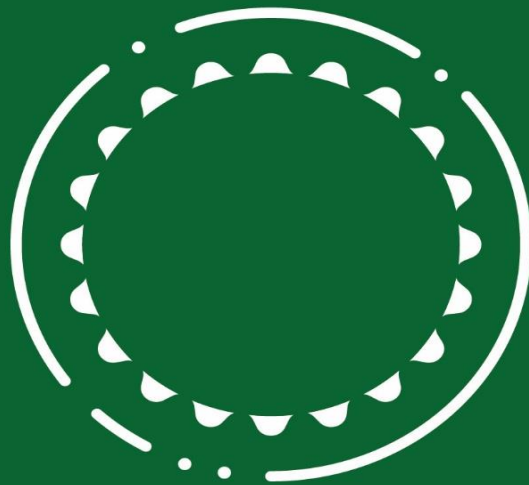
1.3.3.4. Riesgo Socioeconómico

Fue determinado como la medida del riesgo para un grupo de personas. se analizan a partir de la posible afectación hacia las comunidades e infraestructura existente del proyecto, a causa de amenazas exógenas o endógenas que lo afecten y creen un impacto (Ecopetrol, 2013).

1.3.4. Aceptabilidad del riesgo

Consiste en evaluar los resultados obtenidos en la etapa de análisis de riesgo y de acuerdo a ello definir los niveles de riesgo alto, medio o bajo, se debe tener en claro que los criterios

dependen de factores económicos, sociales y políticos y de los indicadores que se planteen, como el producto de la evaluación entre el valor de las pérdidas probables como el valor de los elementos expuestos. Según lo establecido por la ley 1523 de 2012 es necesario definir la viabilidad de la mitigación o no del riesgo.



ÁREA DE ESTUDIO
CAPÍTULO DOS



2. Área de Estudio

Basados en la ANLA en su Metodología General para la Elaboración de Estudios Ambientales (2018) y el modelo de almacenamiento de datos geográficos establecido en la Resolución 2182 de 2016, y en lo establecido en los lineamientos del IGAC para la elaboración de cartografía en Colombia, se describen a continuación los aspectos que se deben tener en cuenta para la caracterización del área objeto de estudio y se describen las fuentes principales de donde puede ser obtenida.

2.1. Información Cartográfica

La información a nivel cartográfica requerida puede ser de tipo: cartografía básica y/o cartografía temática de acuerdo con el alcance del proyecto de hidrocarburos que se este evaluado.

2.1.1. Fuentes

Puede ser obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y/o La Dirección General Marítima (DIMAR). Para el caso de requerirse información cartográfica temática además de las fuentes nombradas anteriormente se puede hacer uso del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), Corporaciones Autónomas Regionales (CARs), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

2.1.2. Especificaciones

Esta información geográfica debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

- Marco de referencia MAGNA – SIRGAS, asociado al elipsoide GRS80 (Global Reference System 1980, equivalente a WGS84 (World Geodetic System 1984).
- Sistema de coordenadas geográficas; es decir latitud, longitud y altura. En esta última variable se debe especificar si está referida al elipsoide GRS80 (altura elipsoidal) o medida a partir de la red de nivelación nacional (altura nivelada).
- Precisiones: Para sobreponer la información colectada en campo sobre cartografía en diferentes escalas, la Tabla 1 presenta los criterios de precisión aceptables de acuerdo con la escala manejada:

Tabla 1. Criterios de Precisión

Escala	Error Máximo Permitido (M)
1:2.000	0,5
1:10.000	2
1:25.000	5
1:100.000	20
1:500.000	30

Fuente: ANLA, 2018

2.2. Información secundaria

2.2.1. Medio Abiótico

Para el medio Abiótico del área de estudio se deben tener en cuenta los siguientes componentes; Geológico, Geomorfológico, Geotécnico, edafológico, Hidrológico, Calidad del agua, Uso del agua, Hidrogeológico, Atmosférico, Paisaje. Teniendo en cuenta las operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos pueden llegar a afectar cada uno de estos componentes en un momento dado.

2.2.1.1. Fuentes

A continuación, se hace una descripción de lo que se debe evaluar en cada uno de los componentes abióticos y se presentan las posibles fuentes para acceder a dicha información (Tabla 2).

Tabla 2. Fuentes de información para el componente abiótico

Componente	Descripción	Fuente
Geología	Describir las unidades litográficas y rasgos estructurales, haciendo énfasis en aquellos asociados a lineamientos, fallas, y zonas de concentración de esfuerzos tectónicos	SGC, INVEMAR.
Geomorfología	definir las unidades geomorfológicas continentales teniendo en cuenta; morfogénesis, morfografía, morfodinámica, morfoestructural	IGAC y SGC
Suelos	Identificar el uso actual y permitido de la tierra de acuerdo con lo establecido en los instrumentos de ordenamiento territorial (POT, PBOT, EOT, POMCA y/o POMIUC, en caso de que existan)	IGAC, CORPOICA, IDEAM
Hidrología	Ubicar el proyecto dentro de la zonificación hidrográfica	IDEAM, autoridades ambientales regionales y

Componente	Descripción	Fuente
	nacional del IDEAM y Min ambiente (área, zona, subzona y nivel subsiguiente)	locales, ADR, ANT, Sistema de Información del Recurso Hídrico-SIRH
Uso del Agua	Presentar el inventario de las fuentes superficiales y subterráneas abastecedoras, identificando los usos y usuarios actuales	Información primaria y autoridades ambientales, regionales y locales.
Hidrogeología	Identificar unidades hidrogeológicas susceptibles de alteración por la construcción y/u operación del proyecto, y/o que estén siendo explotadas en el área	Minambiente, SGC, SIRH, autoridades ambientales regionales y locales.
Atmosfera	se deben evaluar los siguientes aspectos: Meteorología, fuentes de emisión y ruido	IDEAM, Sistema de Información sobre Calidad del Aire – Sisaire, autoridades ambientales regionales y locales, DIMAR.
Paisaje	se deben considerar la estructura y complejidad del paisaje, así como los elementos discordantes y la compatibilidad del proyecto con el paisaje actual	IGAC, INVEMAR, ANH autoridades ambientales regionales y locales.

Fuente: ANLA, 2018

2.2.2. Medio Biótico

Se hace necesario realizar un análisis de las características tanto cualitativas como cuantitativas de los componentes del medio biótico que condicionan los ecosistemas presentes en el área, determinando su funcionalidad y estructura. Como un punto de partida del estado inicial antes de los proyectos. Se debe tener información de la flora y fauna del lugar.

2.2.2.1. Fuentes

A continuación, se hace una descripción de lo que se debe evaluar en cada uno de los componentes bióticos y se presentan las posibles fuentes para acceder a dicha información (Tabla 3).

Tabla 3. Fuentes de información para el componente biótico.

Componente	Descripción	Fuentes
Flora	caracterizar las unidades de cobertura vegetal, a través de la composición florística, determinando especies de especial interés, dentro de este aspecto es importante realizar un análisis de los procesos de fragmentación dentro de la zona.	IGAC, centros de investigación (ICN, universidades, entre otros), IDEAM. Cormagdalena, UAESPNN, RESNATUR, IAvH, IIAP, SINCHI, SiB, SiBM, SIAC, Herbario Nacional, jardines botánicos, autoridades ambientales regionales y locales
Fauna	determinación a través de la cobertura de la tierra mediante la metodología Corine Land Cover, se debe involucrar como	IavH, IIAP, SINCHI, IDEAM, ADR, ANT, centros de investigación, SiB, Sistema de Información sobre Biodiversidad Marina

Componente	Descripción	Fuentes
	mínimo los grupos de; anfibios, reptiles, aves y mamíferos	(SiBM), SIAC, AICAS, centros de documentación de autoridades ambientales regionales y locales
Ecosistemas Acuáticos	Identificar los ecosistemas acuáticos (lóticos y lénticos) y determinar su dinámica e importancia en el contexto regional. Se deben analizar los potenciales efectos de la fragmentación de ecosistemas acuáticos como consecuencia de la construcción de la infraestructura del proyecto.	IDEAM, IavH, SINCHI, Minambiente, SiB, AUNAP, autoridades ambientales regionales y locales,

Fuente: ANLA, 2018

2.2.3. Medio Socioeconómico

Hace referencia a los siguientes componentes; demográfico, espacial, económico, cultural, arqueológico y política, que están estrechamente relacionados con el óptimo desarrollo social y económico.

2.2.3.1. Fuentes

A continuación, se hace una descripción de lo que se debe evaluar en cada uno de los componentes socioeconómicos y se presentan las posibles fuentes para acceder a dicha información (Tabla 4).

Tabla 4. Fuentes de información para el componente socioeconómico.

Componente	Descripción	Fuentes
Demográfico	determinar dinámica de poblamiento (particularidades del proceso de poblamiento), y la dinámica poblacional (cantidad y densidad poblacional)	DANE, SISBEN, Ministerio de Agricultura, Ministerio del Interior, Agendas de competitividad del DNP,
Espacial	información de los servicios públicos y sociales incluyendo calidad y cobertura	SIGOT, IGAC, UAEGRTD, ANSPE-DPS, SIAC entidades territoriales y fuentes primarias
Económico	proyectos económicos dinámica económica general	
Cultural	Determinar comunidades étnicas y comunidades no étnicas	Información primaria, ICANH, ADR, ANT, Ministerio de Cultura y Ministerio del Interior
Arqueológico	existencia de lugares reconocidos por su potencial interés histórico, cultural y/o arqueológico	Información primaria, Ministerio de Cultura e ICANH.
Político	identificar la organización social y cada uno de sus actores	Entidades territoriales, DANE, Agendas de competitividad del DNP, IGAC, UAEGRTD, SIAC, Observatorios de paz regionales e información primaria.

Fuente: ANLA, 2018



ANÁLISIS DE AMENAZAS

CAPÍTULO TRES



3. Análisis de Amenaza

En este apartado se describen los procesos metodológicos propuestos para realizar la determinación de las amenazas existentes.

3.1. Identificación de eventos Amenazantes

Para la determinación de los eventos amenazantes, se requiere de información preliminar proporcionada por las empresas y sus procesos a evaluar, donde se presente de manera clara las actividades desarrolladas en el área del proyecto de exploración o explotación, junto con los equipos e infraestructura a utilizar, esta información puede ser obtenida a través de las licencias ambientales autorizadas obtenidas por los ejecutores del proyecto, de un estudio de impacto ambiental realizado dentro del proyecto o del plan de manejo ambiental diseñado por la empresa.

A partir del conocimiento de las actividades realizadas en cada una de las etapas y subetapas, se dispone a realizar una identificación y clasificación del tipo de evento amenazante que puede desencadenar dicha actividad.

3.1.1. Categorización de los eventos amenazantes

Según observaciones realizadas los riesgos presentes de acuerdo a las actividades realizadas son, de origen antrópico, operacional, natural y tecnológico. En la Tabla 5 se presentan los eventos amenazantes asociados a cada uno de ellos.

Tabla 5. Categorización eventos amenazantes

Categoría De Riesgo	Eventos Amenazantes Asociados
Origen Antrópico	Actividades criminales, paro de comunidades, paro de trabajadores

Categoría De Riesgo	Eventos Amenazantes Asociados
Origen Operacional	Superficies deslizantes, niveles de ruido, manipulación de cargas y herramientas, vibraciones, accidentes vehiculares, fallas mecánicas, altas temperaturas, incendio estructural, fallas eléctricas
Origen tecnológico	Explosión, Lllamarada, piscina de fuego y chorro de fuego, derrame y/o escape de sustancias químicas, escape de gas, blow out
Origen natural	Incendios, sismos, inundaciones, terremotos, hundimientos, etc

Fuente: Propia, 2020

Es posible evidenciar dentro de los procesos cada uno de los riesgos anteriormente mencionados, pero con el fin de llevar a cabo el análisis cuantitativo, será necesario solo realizar la evaluación de aquellos eventos amenazantes que permitan ser valorados cuantitativamente. En la Tabla 6 se pueden observar los eventos amenazantes que son objetos de un análisis de riesgos cuantitativo, junto con el riesgo asociado.

Tabla 6. Eventos amenazantes para el análisis cuantitativo en las etapas de exploración y explotación de hidrocarburos

Eventos Amenazante	Riesgo
Blow Out	Individual, social, socioeconómico y ambiental
Incendio estructural	Individual
Derrame y/o escape de sustancias químicas	Ambiental
Lllamarada, incendio de piscina y chorro de fuego	Individual, social y socioeconómico
Explosiones	
Escape de gas	

Fuente: Propia, 2020

Por otro lado, se debe realizar una evaluación de los equipos utilizados para así determinar el tipo de evento amenazante que puede estar asociado. Para esto es necesario realizar un levantamiento de información primaria y secundaria, en donde se debe indagar y especificar las posibles fallas de los equipos, las causas y los efectos de dichas fallas junto con su probabilidad, es decir, la probabilidad de que X falla ocurra. Lo anterior por medio de base de datos de las empresas, entrevistas a los trabajadores y gerentes de la empresa, información de los fabricantes de los equipos utilizados, visitas a campo de un profesional en plan de gestión del riesgo y/o estadísticas provenientes de la empresa.

A continuación, en la Tabla 7 se presenta un formato el cual puede ser utilizado para la adquisición y presentación de esta información.

Tabla 7. Formato de campo para la identificación de fallas en equipos

Nombre empresa: XXXXXXXXXXXX					Fecha:	
Fuente información: Encuesta a trabajador – (nombre fuente)						
ID	Nombre del equipo	Falla	Causa	Efecto	Probabilidad de falla	Evento Final
1	Carrotanque	Error humano	Enfermedad repentina	Falla del carrotanque	0%	Derrame

Fuente: Propia, 2020



ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

CAPÍTULO CUATRO



4. Análisis de vulnerabilidad



En este apartado se describen los lineamientos metodológicos establecidos por esta guía para el análisis de vulnerabilidad de los proyectos de exploración, explotación y producción de hidrocarburos. El análisis que se lleva a cabo es inicialmente de tipo cualitativo, identificando y caracterizando los elementos expuestos cercanos a la zona de estudio, para una posterior categorización de acuerdo con el riesgo al que se ven expuestos.

4.1. Elementos expuestos

Para una efectiva identificación de los elementos expuestos, se hace necesario realizar diversas visitas (salidas a campo) a la zona de estudio, además de tener en cuenta información general del área, como lo es la ubicación geográfica, características climáticas, tipo de economía y tipo de población, así como características ecológicas, que se pueden ser obtenidas a través de las fuentes presentes en el Capítulo 2 de esta guía.

En las salidas de campo se debe realizar un recorrido a toda el área de influencia del proyecto, con el fin de identificar, caracterizar y clasificar los diversos tipos de elementos expuestos, los cuales se pueden observar en el numeral 4.1.1. Para esto se debe tener en cuenta el formato de identificación y caracterización de elementos expuestos el cual se puede observar en la Tabla 8.

Tabla 8. Identificación y caracterización de los elementos expuestos

Nombre empresa: XXXXXXXXXX				Fecha:	
Fuente información: Salida a campo					
ID	Nombre	Características	Clasificación	Riesgo asociado	Fotografía
1	Vivienda San Jacinto	Vivienda familiar, cercana a la plataforma, habitan 4 personas	Elementos Individuales	Individual	
2	Cuerpo léntico	Jagüey cercano a una vivienda, del cual las personas se suministran de agua	Elementos ambientales	Ambiental	

Fuente: Propia, 2020

4.1.1. Clasificación elementos expuestos

Los elementos expuestos deben ser clasificados de acuerdo con el tipo de elemento como se mencionó anteriormente, es decir, elemento social, elemento ambiental, elemento socioeconómico, y elemento individual, cabe aclarar que esta clasificación se realizó con respecto al riesgo a analizar, por lo tanto, en la Tabla 9 se muestra la clasificación a tener en cuenta.

Tabla 9. Clasificación de elementos expuestos

Clasificación	Elementos expuestos	Riesgo
Elementos sociales	Asociados con la forma de distribución de la población, los tipos de asentamientos, e infraestructuras culturales	Riesgo social

Clasificación	Elementos expuestos	Riesgo
Elementos ambientales	Cuerpos de agua, Fauna y cobertura de tierra, pozos de agua subterránea	Riesgo ambiental
Elementos socioeconómicos	Actividades productivas	Riesgo socioeconómico
Elementos Individuales	Viviendas	Riesgo individual

Fuente: Propia, 2020

4.1.2. Índices de importancia de los elementos expuestos para evaluar las consecuencias.

Teniendo en cuenta que los elementos tienen diferente sensibilidad se creó una tabla de Índice de importancias. Para esta tabla, se revisó la guía metodológica “Zonificación ambiental de áreas de interés petrolero”, del 2012, en donde se evidencian valores de sensibilidad para los elementos expuestos. Teniendo en cuenta que las redes bayesianas trabajan con datos probabilísticos, se creó una homologación de los valores de la guía, para llevarlos a escala de 0 a 1. Por ejemplo, para las coberturas de la tierra la guía tiene una escala de calificación entre 1 y 33, donde el valor más alto es para los bosques densos, como la escala a crear es entre 0 y 1, para nuestro caso los bosques densos tendrán un valor de 1 (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Índices de importancia elementos expuestos

Elementos Expuesto	Sub-elemento expuesto	Índice de importancia
Cobertura tierra	Bosques densos	1
	Bosque de galería	0,8
	Bosque abierto o fragmentado	0,6
	Herbazal denso	1
	Herbazal abierto	0,4
	Arbustal	1

Capítulo Cuatro: Análisis de Vulnerabilidad

Elementos Expuesto	Sub-elemento expuesto	Índice de importancia
	Vegetación secundaria o en transición	0,4
	Zonas pantanosas	0,6
	Turberas	1
	Vegetación secundaria alta o en transición	0,8
	Vegetación secundaria baja o en transición	0,4
	Zonas industrializadas o comerciales	0,2
	Cultivos transitorios	0,4
	Cultivos permanentes	0,6
	Pastos	0,4
	Áreas agrícolas heterogéneas	0,6
	Ríos, lagos, lagunas, ciénagas	1
Cuerpos de agua	Existe cuerpo de agua	1
	No existe cuerpo de agua	0
Fauna	El 50% o más del total de las especies están en alguna categoría	1
	El 30% del total de las especies están en alguna categoría	0,8
	El 20% del total de las especies están en alguna categoría	0,6
	El 10% o menos del total de las especies están en alguna categoría	0,4
	El 100% del total de las especies pertenecen a NE (No evaluado)	0,2
Asentamientos	Existe asentamientos dispersos o nucleado	0,8
	No existe asentamientos dispersos o nucleados	0
Infraestructura social	Centros religiosos	1
	Centros deportivos	1
	Centros educativos	1
	Parques recreativos	1
	Centros de salud	1
	Viviendas	1

Elementos Expuesto	Sub-elemento expuesto	Índice de importancia
	Pozos de agua subterránea	0,8
Actividades productivas	Cultivos	0,6
	Ganadería	0,4
	Industria	0,6
	Piscicultura	0,8
	Plantaciones forestales	0,6
	Porcicultura	0,4
	Avicultura	0,4
	Producción equina	0,4
	Otros (bufalinos, caprinos, mular, asnal, ovino, pollos de engorde, aves de postura y aves traspatio)	0,4

Fuente: Propia 2020



ANÁLISIS DE RIESGO

CAPÍTULO CINCO



5. Análisis de riesgo

Para llevar a cabo el análisis de riesgo se deben implementar las redes bayesianas, esto teniendo en cuenta la información obtenida en la identificación y categorización de los eventos amenazantes a analizar, los cuales se muestran la Tabla 6.

A continuación, se hace una breve descripción de las redes bayesianas, las cuales tienen diversas aplicaciones, entre ellas la clasificación, predicción, análisis, diagnóstico, entre otros (Sucar, 2011).

Una red bayesiana es una representación gráfica definida por un conjunto de nodos y arcos dirigidos (Ver Figura 2), en donde el nodo tiene una tabla de probabilidad asociada llamada tabla de probabilidad condicional (Unnikrishnan, 2020).

Como se mencionó anteriormente la red bayesiana es un método probabilístico de análisis y evaluación de riesgos en sectores como la informática, medicina, ecología e hidrocarburos. Este método tiene ciertas ventajas frente las QRA y revela un perfil de riesgo más completo con causas y efectos (Unnikrishnan, 2020).

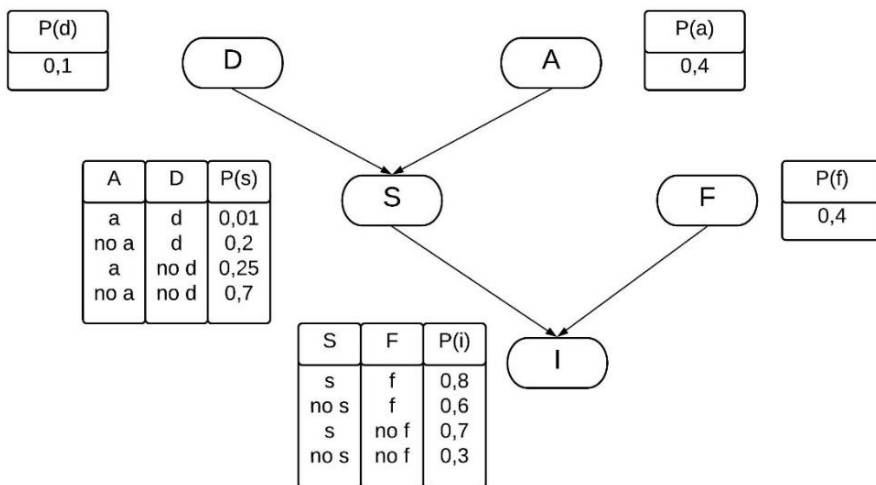


Figura 2. Ejemplo de la red bayesiana

Fuente: (Castañesa & Murugarra, 2008)

El teorema de Bayes hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de A y B se establece como $P(A)$ y $P(B)$, por lo tanto, $P(A)$ sucede cuando B ya ha sucedido (Unnikrishnan, 2020), lo cual se puede expresar así:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)}$$

Sin embargo, para el análisis de riesgo en donde se manejan causas y efectos, dicha ecuación puede ser traducida así:

$$P(\text{Efecto}|\text{Causa}) = \frac{P(\text{Causa}|\text{Efecto})P(\text{Efecto})}{P(\text{Causa})}$$

Mediante la siguiente ecuación se puede obtener o calcular la probabilidad de causa total.

$$P(\text{Causa}) = \frac{P(\text{Efceto})P(\text{Causa})}{P(\text{Efecto})} + \frac{P(\text{Efceto})P(\text{No Causa})}{P(\text{No Efecto})}$$

La expresión general de la red bayesiana está dada por la probabilidad conjunta, en donde se tiene claridad de los padres de cada nodo (Unnikrishnan, 2020), esto se puede observar en la siguiente ecuación:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i | \text{Padres}(A_i))$$

Luego de tener claridad de en que consisten las redes bayesianas, se debe realizar el análisis de riesgos de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, para esta realizar estas redes bayesiana se sugiere utilizar el software GeNIe 3.0 Academic, el cual es una herramienta libre, fácil de usar y que calcula automáticamente las probabilidades de las redes bayesianas.

Para facilidades de la metodología, se explicará cómo realizar el análisis de riesgo para el equipo “carrotanque”, el cual está presente en las etapas de exploración y explotación de hidrocarburos.

Inicialmente, se debe realizar un análisis general en donde se muestran las fallas junto con sus causas, efectos y probabilidad identificadas anteriormente. En la Tabla 11 se pueden observar algunas fallas identificadas para un carrotanque.

Tabla 11. Fallas identificadas para el equipo “carrotanque”

N°	Causa Principal	Causa secundaria	Estados	Probabilidad
1		Alta velocidad	Si	0%
			No	100%
2	Error Humano	Entrenamiento no adecuado	Si	50%
			No	50%
3		Manual no revisado	Si	0%
			No	100%
4		Revisión pre-operacional	Si	50%

N°	Causa Principal	Causa secundaria	Estados	Probabilidad
5		Cansancio o fatiga	No	50%
			Si	0%
6		Sobrellenado	No	100%
			Si	5%
7		Enfermedad repentina	No	100%
			Si	0%
8		Incapacidad física	No	95%
			Si	5%
9		Distracción	No	100%
			Si	0%
10		Alcohol o drogas	No	100%
			Si	0%
1		Equipo inadecuado	No	100%
			Si	0%
2		Válvula con goteo	No	99%
			Si	1%
3		Accesorios dañados	No	99%
			Si	1%
4		Falla de frenos	No	99%
			Si	1%
5	Falla del equipo	Falla de dirección	No	100%
			Si	0%
6		Falla de venteos	No	100%
			Si	0%
7		Falla de ruedas	No	100%
			Si	0%
8		Falla de corrosión	No	100%
			Si	0%
9		Falla de soldadura	No	100%
			Si	0%

N°	Causa Principal	Causa secundaria	Estados	Probabilidad
1		Error en la selección de la ruta	Si	0%
			No	100%
2		Error en el mantenimiento	Si	0%
			No	100%
3	Falla de procedimientos	Falla en la revisión pre-operacional	Si	0%
			No	100%
4		Falla en el proceso de llenado	Si	0%
			No	100%
5		Falla en el proceso de cargue	Si	0%
			No	100%
1		Tormentas	Si	0%
			No	100%
2		Inundaciones	Si	0%
			No	100%
3	Riesgos natech	Incendios	Si	0%
			No	100%
4		Terremotos	Si	0%
			No	100%
5		Otros	Si	0%
			No	100%

Fuente: Propia, 2020

En la Tabla 11 se observa una columna de causa secundaria, información proveniente de la identificación de eventos amenazantes con diferentes fuentes de información (entrevistas a trabajadores, planes de gestión del riesgo, y series históricas), igualmente las probabilidades de que sucediera o no el evento; por otro lado hay una columna llamada “causa principal”, la cual es la causa principal de las causas identificadas (esta causa principal es a consideración de quien esté realizando el análisis de riesgos), a esta causa

principal se le debe calcular, por tal motivo se debe utilizar el software GeNle 3.0 Academic mencionado anteriormente.

En la Figura 3, se puede observar la ventana de trabajo de la herramienta libre GeNle 3.0 Academic. En esta podemos encontrar un lienzo en blanco en donde se deben agregar los nodos y arcos de la red bayesiana, en la parte superior se encuentra la barra de herramientas y en la parte lateral izquierda el identificador de los nodos que se van agregando al lienzo.

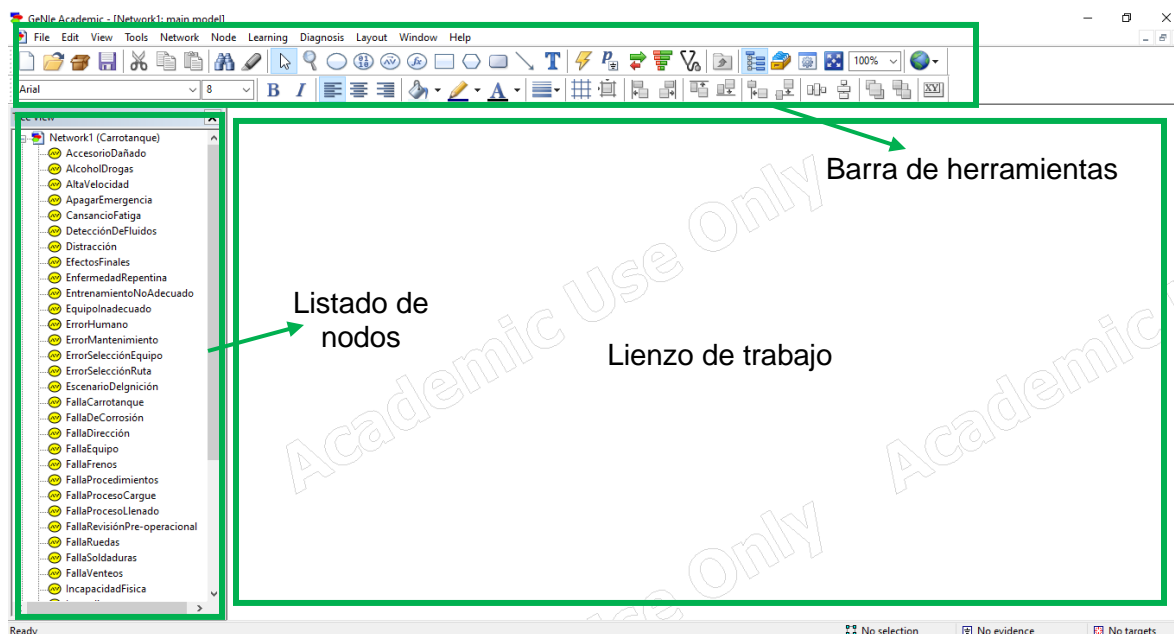


Figura 3. Ventana de trabajo del software GeNle 3.0 Academic

Fuente: Propia, 2020

Para agregar los nodos de las causas secundarias se procede a dar clic sobre el icono “NoisyMAX node”, el cual se puede observar en la Figura 4.

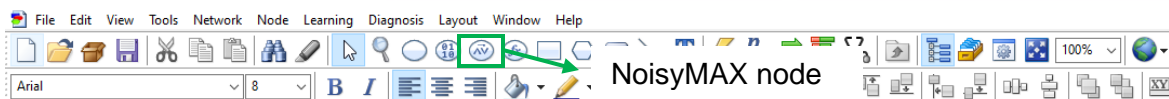


Figura 4. Herramienta para añadir nodos al lienzo de trabajo

Fuente: Propia, 2020

Al realizar dicha operación se añadirá un nodo al lienzo de trabajo el cual debe ser nombrado sin espacios. Es claro que para cada nodo (causa secundaria) añadido se debe insertar la probabilidad expuesta en la Tabla 11. Para esto se procede a dar clic derecho sobre el nodo y seleccionar la opción de “node properties”, la cual nos llevara a la ventana de propiedades del nodo, allí se debe dar clic en la interfase de “Definition” (Ver Figura 5) y se debe añadir los estados junto con sus probabilidades. Se debe tener en cuenta que las probabilidades no deben ser añadidas en porcentajes. Realizar la misma operación para cada uno de los nodos o causas secundarias.

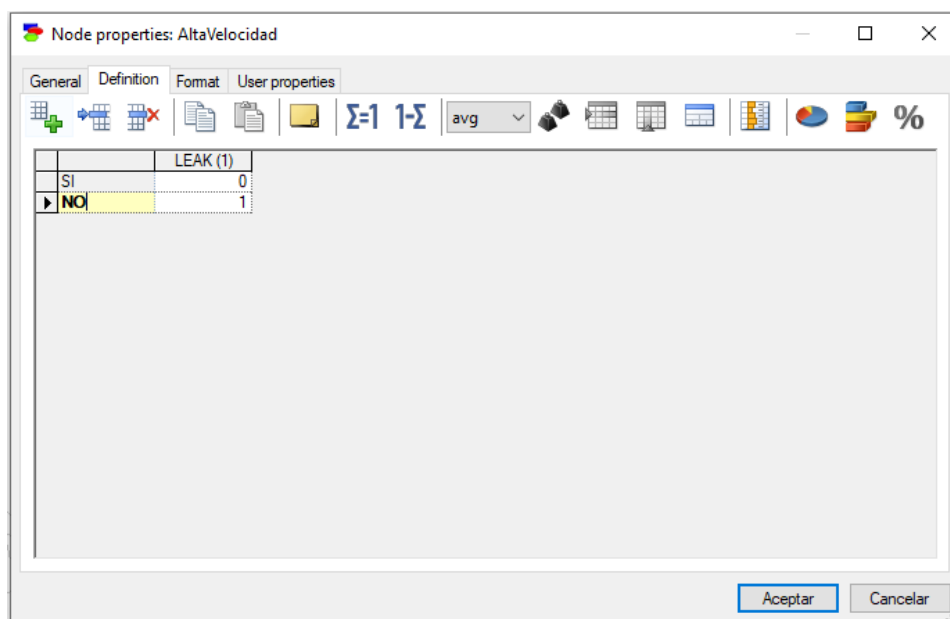


Figura 5. Interfase de definición de probabilidades

Fuente: Propia, 2020

Teniendo todos los nodos sobre el lienzo de trabajo debidamente identificados con un nombre y con sus respectivas probabilidades, se procede a añadir las causas principales (nodos). Para esto se realiza la misma operación indicada en la Figura 4. Sin embargo, a la hora de definir las propiedades del nodo se agregan los estados y se dejan las probabilidades por defecto.

Posteriormente, se deben unir los nodos por medio de la utilización de los arcos, lo cuales se agregan utilizando la herramienta “Arc” que se puede observar en la Figura 6. Para realizar esta unión se debe hacer clic sostenido en el nodo de causas secundaria y arrastrar el cursor hasta el nodo de causa principal que corresponde. Así obtener un diagrama como se muestra en la Figura 7.



Figura 6. Herramienta para añadir arcos al lienzo de trabajo

Fuente: Propia, 2020

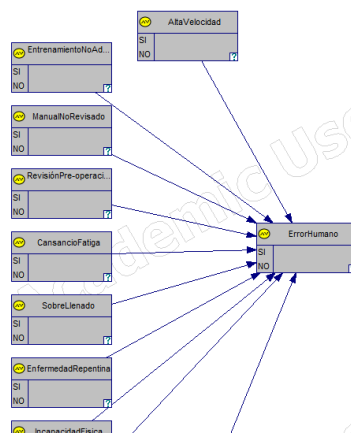


Figura 7. Unión de nodos y arcos

Fuente: Propia, 2020

Luego de añadir todas las causas al lienzo de trabajo, se deben añadir los efectos de las fallas. En la Tabla 12 se pueden observar los efectos identificados para un carrotanque. Cabe aclarar que estos no deben llevar probabilidad puesto que es esta la que se va a calcular por medio de la red bayesiana.

Tabla 12. Efectos de las fallas identificados para el equipo “carrotanque”

N°	Descripción del Nodo	Estados
1	Falla del carrotanque	Si
		No
2	Pérdida de contención del carrotanque	Si
		No
3	Detección de fluidos	Si
		No
		SinLiberación
4	Apagar emergencia	FluidoDetectado
		FluidoNoDetectado
		SinLiberación1
5	Escenario de ignición	ApagarEmergenciaInmediato
		ApagarEmergenciaRetrasado
		ApagarEmergenciaSinIgnición
		ApagarEmergenciaNoInmediatamente
		ApagarEmergenciaSinRetraso
		ApagarEmergenciaConIgnición
		NoDetecciónInmediato
		NoDetecciónRetrasado
NoDetecciónSinIgnición		
6	Efectos finales (consecuencias)	SinLiberación3
		ChorroFuego
		Derrame

N°	Descripción del Nodo	Estados
		Explosión
		IncendioPiscina

Fuente: Propia, 2020

Para añadir los efectos al lienzo de trabajo o red bayesiana, se debe realizar el mismo procedimiento para la adición de las causas principales y la unión de los nodos. Teniendo en cuenta que el primer efecto es la falla del carrotanque, se deben unir los nodos de causas principales a este nodo para poder dar inicio con el análisis de los efectos de falla. La sección de los efectos se debe ver similar a lo mostrado en la Figura 8.

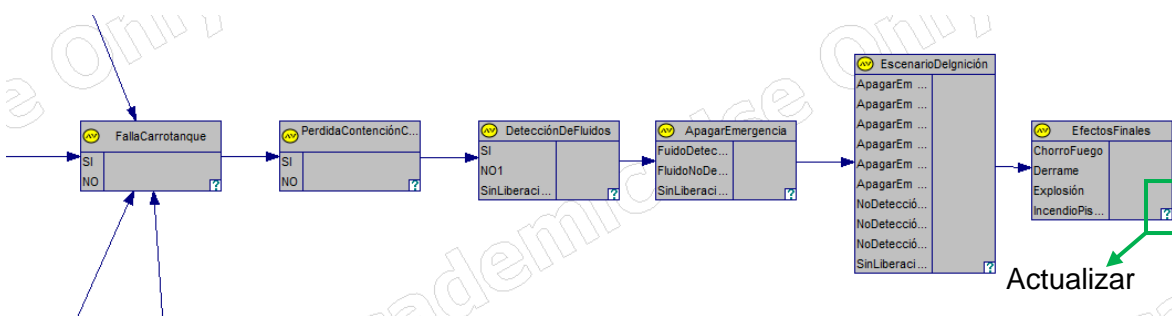


Figura 8. Sección de la red bayesiana para los efectos de falla del equipo “carrotanque”

Fuente: Propia, 2020

Finalmente, para la obtención de las probabilidades de los efectos finales y demás nodos dentro de la red bayesiana, se debe dar doble clic sobre el signo de interrogación (?) que esta en la parte inferior del nodo final (Ver Figura 8) el cual actualizara y calculara los valores deseados.

Como resultado del análisis general se debe obtener una red bayesiana similar a la mostrada en la Figura 9.

5.1. Riesgo individual

Para la elaboración y análisis del riesgo individual se tienen en cuenta los efectos finales (consecuencias) de cada uno de los equipos utilizados en el sector, considerando todos los sucesos finales que puedan ocurrir, los cuales fueron analizados anteriormente y los elementos expuestos de clasificación individual con su respectivo índice de importancia.

A continuación, se pueden observar la red bayesiana para el equipo analizado (carrotanque), en donde se evidencia la probabilidad de que una persona muera a causa de la materialización de un evento amenazante.

Como se puede observar en la Figura 10, se muestran los efectos finales encontrados en el análisis general junto con sus probabilidades resultantes. Para realizar el análisis del riesgo individual se debe realizar otra red bayesiana en donde se incluyan los efectos finales mencionado y los elementos expuestos, los cuales para este caso hacer referencia a las viviendas con un índice de importancia de 1 o en su defecto 100%.

Realizada la red bayesiana se obtuvo la probabilidad del riesgo individual en donde esta es de 32%.

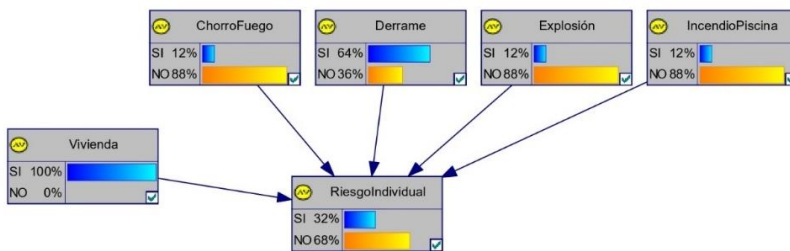


Figura 10. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

5.2. Riesgo ambiental

Para la elaboración y análisis del riesgo ambiental se tiene que realizar otra red bayesiana en donde se incluyan los efectos finales (consecuencias) del equipo analizado, considerando especialmente a los sucesos finales de derrame, incendio de piscina y llamarada, por ser lo que pueden ocasionar una mayor afectación sobre el medio ambiente (Ecopetrol, 2013), los cuales fueron analizados anteriormente y los elementos expuestos de clasificación ambiental con su respectivo índice de importancia.

En la Figura 11, se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental del carrotanque, en donde se simula la presencia de fauna, cuerpos de agua lenticos y loticos, pozos de agua subterránea y una cobertura de zonas pantanosas dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 41% de afectación o deterioro del medio ambiente.

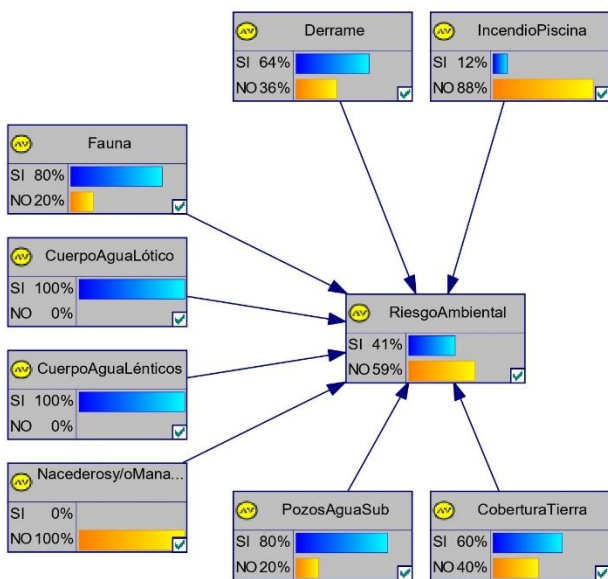


Figura 11. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

5.3. Riesgo social

Para la elaboración y análisis del riesgo social se debe realizar otra red bayesiana en donde se incluyan los efectos finales (consecuencias) del equipo analizar, considerando todos los sucesos finales que puedan ocurrir, los cuales fueron analizados anteriormente y los elementos expuestos de clasificación social con su respectivo índice de importancia.

En la Figura 12, se puede observar la probabilidad de riesgo social del carrotanque en donde se simula la presencia de asentamientos dispersos, centros religiosos, centros deportivos, centros educativos y centros de salud dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 43% de que un grupo de personas mueran.

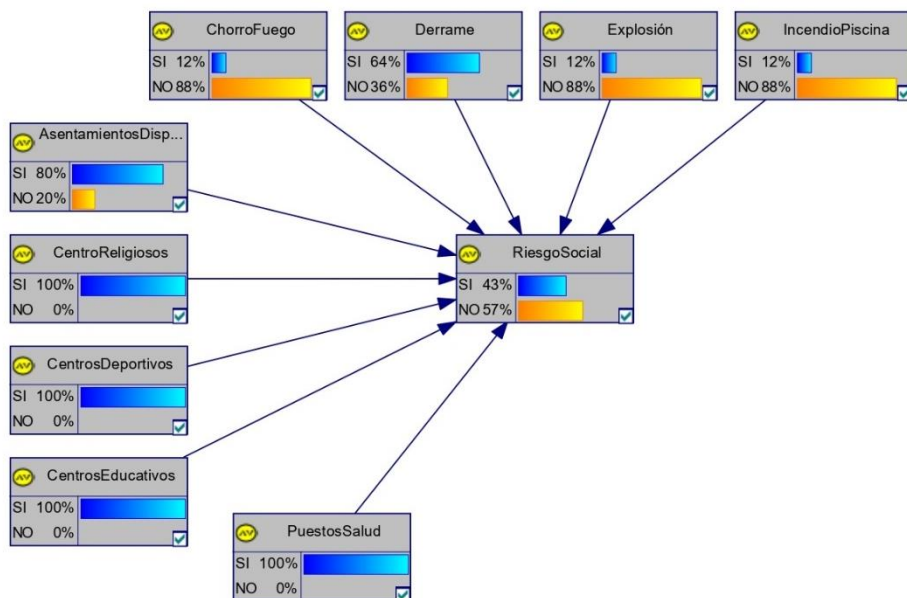


Figura 12. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

5.4. Riesgo socioeconómico

Para la elaboración y análisis del riesgo socioeconómico se debe realizar otra red bayesiana en donde se incluyan los efectos finales (consecuencias) del equipo a analizar, considerando todos los sucesos finales que puedan ocurrir, los cuales fueron analizados anteriormente y los elementos expuestos de clasificación socioeconómica con su respectivo índice de importancia.

En la Figura 13, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico del carrotanque en donde se simula la presencia de cultivos, ganadería, industria, piscicultura, plantaciones forestales, porcicultura, avicultura, producción equina y caprina (otros) dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 40%.

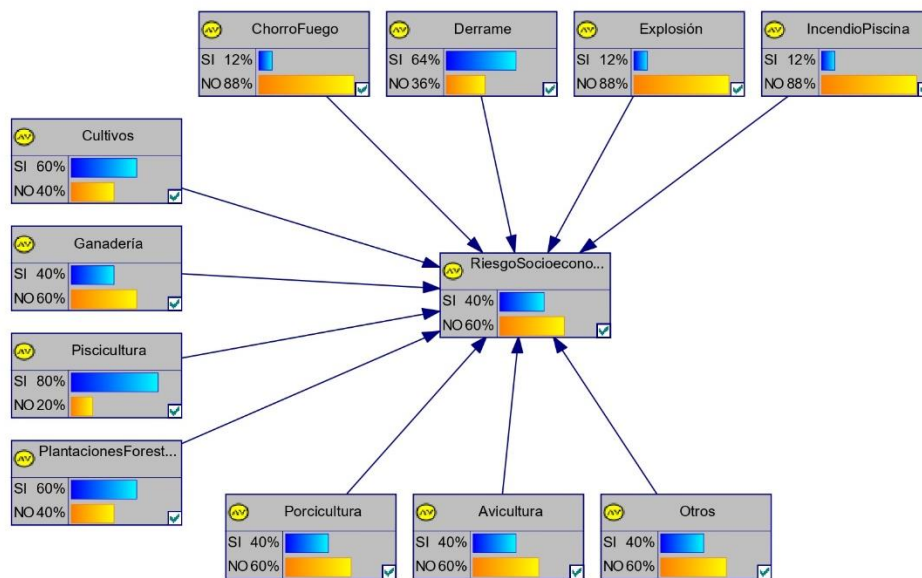


Figura 13. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

5.5. Aceptabilidad del riesgo

La aceptabilidad del riesgo se basa en la metodología ALARP y la matriz de riesgos sugerida en la ISO 17776 de 2002, los límites de aceptabilidad de riesgo se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Límites de aceptabilidad del riesgo

Probabilidad del riesgo	Aceptabilidad del riesgo	Medidas de acción
0 – 0,4	Aceptable	Continuar revisando y reduciendo los riesgos siempre que sea factible hacerlo, en aquellos casos en los que los costos sean insignificantes o las autoridades ambientales lo requieran
0,4 – 0,7	Tolerable	Se debe implementar un control de riesgo, esto si las inversiones de dinero, tiempo, problemas, etc no están en gran desproporción con respecto a los beneficios logrados al implementarlo.
0,7 - 1	Inaceptable	Las medidas para la reducción del riesgo son independientes del costo al implementarlas

Fuente: Propia, 2020

Teniendo en cuenta la Tabla 13, se debe realizar el análisis de la aceptabilidad del riesgo en donde se debe observar la probabilidad de los riesgos individual, ambiental, social y

socioeconómico del equipo que se está analizando. Por lo tanto, si el riesgo se encuentra entre un valor de 0% a 40%, el riesgo será considerado aceptable y se deberá implementar medidas de acción que promuevan la mejora continua y la disminución del riesgo, si el valor está entre un valor de 40% y 70%, el riesgo será clasificado como tolerable, en donde se debe realizar medidas de reducción, como la sustitución o eliminación de equipos, el mantenimiento continuo de la infraestructura, instalar barreras contra incendios, entre otros, para finalizar, si el riesgo se encuentra entre un valor de 70% y 100% este será considerado inaceptable, por lo que es obligatorio, implementar medidas de reducción del riesgo y realizar nuevamente el análisis de riesgo, hasta que el rango de aceptabilidad, será tolerable.

Para el carrotanque que ha sido objeto de análisis en la presente metodología, los niveles de aceptabilidad se pueden observar en la Tabla 14. Allí se ve claramente que se debe implementar medidas de reducción de los riesgos asociados al equipo, como puede ser el continuo mantenimiento de los equipos, la supervisión, capacitaciones al personal, entre otras medidas para que el riesgo disminuya; esto puesto que sus niveles están dentro de los rangos “aceptable” y “tolerable”;

Tabla 14. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo individual

Riesgo evaluado	Probabilidad	Aceptabilidad del riesgo
Riesgo individual	32% - 0,32	Aceptable
Riesgo ambiental	41% - 0,41	Tolerable
Riesgo social	43% - 0,43	Tolerable
Riesgo socioeconómico	40% - 0,40	Tolerable

Fuente: Propia, 2020



RECOMENDACIONES



Recomendaciones

Al momento de hacer la caracterización de los eventos amenazantes, es recomendable realizar una identificación de las actividades y equipos exhaustiva y tener información la siguiente información: activos manejados, planos de las plataformas o proyectos, caracterización de los equipos utilizados (nombre, estado, tiempo de operación, producto que maneja, mantenimiento, longitud, altura, diámetro, temperatura, presión, capacidad máxima, flujo y demás parámetros pertinentes), causas de las principales fallas junto con sus efectos.

En cuanto a los elementos expuestos, es importante realizar una caracterización detallada del número de personas que habitan una vivienda, número de viviendas que hay en un asentamiento nucleado, número de estudiantes de un centro educativo, capacidad de un centro de salud, usos y usuarios de los cuerpos de agua lenticos y loticos, especies de fauna y flora, coberturas de tierras que se verán afectadas, tipos de cultivos, número de cabezas de ganado y demás producción animal, numero de industrias junto con sus principales actividades productivas, entre otras.



BIBLIOGRAFÍA



Bibliografía

- ANLA. (2018). Metodología general para la elaboración y prestación de estudios ambientales. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 5(1), 86–96.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2009.09.004>
- Castañesa, L., & Muruugarra, N. (2008). *Red bayesiana e inferencia utilizando el algoritmo de eliminación de variables.* <http://nineil-leissics.blogspot.com/2008/07/laboratorio7.html>
- Ecopetrol. (2013). *Guía de análisis de riesgo tecnológico para el sector hidrocarburos.*
- Jo, Y. Do, & Crowl, D. A. (2008). Individual risk analysis of high-pressure natural gas pipelines. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(6), 589–595.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.04.006>
- Maskrey, A., & Cardona, O. D. (1993). Los Desastres no son Naturales Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. *La Red*, 51–74.
- SGC, S. G. C., & UNAL, U. N. de C. (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, Escala Detallada. Colección Guías y Manuales. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Suarez-Paba, M. C., Cruz, A. M., & Muñoz, F. (2020). Emerging Natech risk management in Colombia: A survey of governmental organizations. *Safety Science*, 128(April), 104777. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104777>
- Sucar, L. E. (2011). Introduction to bayesian networks and influence diagrams. *Decision Theory Models for Applications in Artificial Intelligence: Concepts and Solutions*, 9–32.

<https://doi.org/10.4018/978-1-60960-165-2.ch002>

- UNGRD. (2017). Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. In *Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo SNGRD*. <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/20761/Terminologia-GRD-2017.pdf;jsessionid=1ADDEE38CA0713C6B15CC4D150169677?sequence=2>
- Unnikrishnan, G. (2020). Oil and Gas Processing Equipment. In *Oil and Gas Processing Equipment*. <https://doi.org/10.1201/9780429287800>
- Zanchos, E. (2018). *Colombia: Derrame de petróleo mata a más de 2400 animales*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2018/04/colombia-derrame-de-petroleo-mata-mas-de-2400-animales>
- Zotin, A., Zuev, D., Kashkin, V., Kurako, M., & Simonov, K. (2018). Environmental risk zones mapping using satellite monitoring data. *Procedia Computer Science*, 126, 1597–1605. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.133>