	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 8

16-

FECHA	miércoles, 9 de diciembre de 2020
--------------	-----------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Facatativá

UNIDAD REGIONAL	Extensión Facatativá
------------------------	----------------------

TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
--------------------------	------------------

FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
---	----------


PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental
---------------------------	----------------------

El Autor (Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
CANCHON TRIANA	CAMILA ALEJANDRA	1073175267
HERNÁNDEZ RINCÓN	PAOLA ANDREA	1072430386

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 2 de 8

Director (Es) y/o Asesor (Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
De Luque Villa	Miguel Antonio
Robledo Buitrago	Daniel Armando

TÍTULO DEL DOCUMENTO
Guía Metodológica para el Análisis de Riesgo de las Actividades de Exploración y Explotación del Sector Hidrocarburos

SUBTÍTULO (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniera Ambiental

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO	NÚMERO DE PÁGINAS
26/11/2020	219 pág.

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
ESPAÑOL	INGLÉS
1. Eventos amenazantes	Threatening events
2. Elementos expuestos	Exposed elementos
3. Análisis de riesgo	Risk analysis
4. Red Bayesiana	Bayesian network
5. Causas	Causes
6. Efectos	Effects



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 8

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En el presente trabajo se propuso una metodología para realizar el análisis de los riesgos para las actividades del sector hidrocarburos. Inicialmente se identificaron los eventos amenazantes, siendo estos la llamarada, chorro de fuego, el derrame, la explosión, el blow out, escape de gas e incendio de piscina y los principales equipos asociados: bomba centrífuga, carrotanque, compresor centrífugo, línea de flujo, separador, tanque de almacenamiento y la tea. En cuanto a los elementos expuestos en campo se identificaron elementos expuesto los cuales fueron clasificados en categorías como elementos sociales, ambientales, socioeconómicos e individuales, igualmente a estos se les asignó un índice de importancia con base a su sensibilidad ambiental, para ponderar sus consecuencias. Para el análisis de riesgos y con la implementación del software GeNle 3.0 Academic se realizaron redes bayesianas a los equipos citados, teniendo en cuenta las causas de las fallas, los efectos y sucesos finales asociados para evaluar el riesgo individual, riesgo ambiental, riesgo social y riesgo socioeconómico. Finalmente, para la generación de los niveles de aceptabilidad, se diseñó una escala de clasificación con base a la metodología ALARP y la matriz sugerida por la ISO 17776 de 2016, obteniendo como resultado tres límites de clasificación, aceptable con una probabilidad de riesgo de 0 a 0,4, tolerable con una probabilidad de riesgo de 0,4 a 0,7 y, por último, inaceptable para la probabilidad de 0,7 a 1.

ABSTRACT

In the research, a methodology was proposed to perform the risk analysis for the activities of the hydrocarbon sector. Threatening events were initially identified, these being the flare, jet of fire, spill, explosion, blow out, gas leak and pool fire and the main associated equipment: centrifugal pump, tank car, centrifugal compressor, flow line, separator, storage tank and tea. Regarding the elements exposed in the field, exposed elements were identified which were classified into categories such as social, environmental, socioeconomic and individual elements, also an index of importance was assigned based on their environmental sensitivity, to weigh their consequences. For the risk analysis and with the implementation of the GeNle 3.0 Academic software, Bayesian networks were performed on the aforementioned equipment, taking into account the causes of the failures, the effects and associated final events to assess individual risk, environmental risk, social risk and socioeconomic risk. Finally, to generate the levels of acceptability, a classification scale was designed based on the ALARP methodology and the matrix suggested by ISO 17776 of 2016, obtaining as a result three classification limits, acceptable with a risk probability of 0 at 0.4, tolerable with a risk probability of 0.4 to 0.7 and, finally, unacceptable for the probability of 0.7 to 1.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PÁGINA: 4 de 8

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizamos a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre nuestra obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son: Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso nuestra obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizamos en nuestra calidad de estudiantes y por ende autores exclusivos, que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de nuestra plena autoría, de nuestro esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de nuestra creación original particular y, por tanto, somos los únicos titulares de la misma.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 8

Además, aseguramos que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifestamos que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de nuestra competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaremos conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI ___ NO X.**
En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 8

patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:


Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. Guía metodológica para el análisis de riesgo de las actividades de exploración y explotación del sector hidrocarburos.pdf	Texto
2. Anexo1. Guía metodológica para el análisis de riesgo de las actividades de exploración y explotación del sector hidrocarburos.pdf	Texto

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
CANCHON TRIANA CAMILA ALEJANDRA	

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 8 de 8

HERNÁNDEZ ANDREA	RINCÓN	PAOLA	<i>Paola Hernández</i>

12.1-40

**Guía Metodológica para el Análisis de Riesgo de las Actividades de Exploración y
Explotación del Sector Hidrocarburos**

Camila Alejandra Canchon Triana

Paola Andrea Hernández Rincón

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2020

**Guía Metodológica para el Análisis de Riesgo de las Actividades de Exploración y
Explotación del Sector Hidrocarburos**

Camila Alejandra Canchon Triana

Paola Andrea Hernández Rincón

Tesis o trabajo de investigación presentado (a) como requisito parcial para optar el título

de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Ing. Daniel Armando Robledo Buitrago

Codirector:

Ing. Miguel Antonio De Luque Villa

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Facatativá, Colombia

2020

El presente trabajo de grado es dedicado con amor y cariño a mí persona, mis padres, mis hermanos, mi gato Max, y a la majestuosa luna, quienes me han apoyado y acompañado en el desarrollo de esta obra. A mis amigos, quienes me han ayudado y me han dado ánimo para confiar en mis capacidades personales y profesionales. Finalmente, a aquellas personas que con una visión constructiva leen este documento.

Camila Alejandra Canchon Triana

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional, a mis padres por ser mi principal pilar y por brindarme su cariño, y su apoyo incondicional, a mis hermanos, ya que, con el fin de ser ejemplo para ellos, he trabajado de la mejor manera para lograr mis objetivos. A mis compañeros, junto con quienes lleve a cabo el proceso de formación y sin sus experiencias y vivencias no habría podido culminarlo.

Paola Andrea Hernández Rincón

Agradecimientos

Agradecemos especialmente al Ing. Miguel Antonio De Luque Villa por su guía, apoyo y ayuda durante el desarrollo de este trabajo de grado, quien con gran dedicación y amor ha aportado de manera positiva al mismo.

A nuestros padres que, sin la educación impartida, valores inculcados, la confianza y entrega, no seríamos las personas que somos, con la capacidad que tenemos y la persistencia la cual no permitió que desistiéramos del desarrollo de este documento.

A nosotras que dedicamos tiempo y constancia para llevar a cabo este trabajo de grado. A nuestro director Daniel Armando Robledo por brindarnos su conocimiento para la culminación de este proyecto.

Gracias a las personas que nos acompañaron en nuestro proceso de formación universitaria y a aquellas personas que nos ayudaron a adquirir capacidades profesionales.

Tabla de Contenido

Introducción	1
Justificación	3
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Marco Teórico.....	6
Gestión de Riesgo.....	6
Amenaza.....	6
Vulnerabilidad	8
Análisis de riesgo	8
Análisis Cuantitativo de Riesgo (QRA)	10
Red Bayesiana (RB)	12
Aceptabilidad y tolerabilidad de riesgo	14
Principio de precaución (PP).	15
Análisis Costo – Beneficio (CBA).....	15
As Low As Reasonably Practicable (ALARP).	15
ISO 17776 de 2016.	16
Marco Legal.....	17
Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD).....	17

Normatividad Nacional Aplicable	18
Metodología.....	29
Fase I: Cumplimiento del objetivo 1	29
Fase II: Cumplimiento del objetivo 2.....	29
Fase III: Cumplimiento del objetivo 3.....	30
Resultados y Análisis.....	32
Fuentes de información.....	32
Eventos amenazantes.....	33
Elementos expuestos	54
Análisis de riesgo	72
Riesgo individual	101
Riesgo ambiental.....	105
Riesgo social	110
Riesgo socioeconómico.....	116
Aceptabilidad del riesgo	122
Conclusiones	126
Recomendaciones	128
Referencias	130
Anexos	135

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz de riesgos	16
Tabla 2. Normatividad nacional aplicable	18
Tabla 3. Actividades transversales y eventos amenazantes.....	34
Tabla 4. Actividades en la etapa de construcción y sus eventos amenazantes	35
Tabla 5. Actividades en la etapa de montaje y operación y, sus eventos amenazantes	40
Tabla 6. Actividades etapa post operativa y sus eventos amenazantes	47
Tabla 7. Eventos amenazantes para el análisis cuantitativo en las etapas de exploración y explotación de hidrocarburos	49
Tabla 8. Equipos utilizados en el sector de hidrocarburos.....	49
Tabla 9. Elementos expuestos de los Llanos Orientales	55
Tabla 10. Elementos expuestos del Valle Inferior del Magdalena.....	59
Tabla 11. Elementos expuestos del Valle Medio del Magdalena.....	66
Tabla 12. Clasificación de elementos expuestos.....	70
Tabla 13. Índice de importancias para los elementos expuestos identificados	71
Tabla 14. Causas de falla de una bomba centrífuga	73
Tabla 15. Efectos de falla de una bomba centrífuga.....	74
Tabla 16. Causas de falla en un carrotanque.....	76
Tabla 17. Efectos de falla en un carrotanque	79
Tabla 18. Causas de falla de un compresor centrífugo.....	81
Tabla 19. Efectos de falla de un compresor centrífugo.....	83
Tabla 20. Causas de falla de una línea de flujo.....	85
Tabla 21. Efectos de falla de una línea de flujo	87
Tabla 22. Causas de falla de un separador	90
Tabla 23. Efectos de falla de un separador	92

Tabla 24. Causas de falla de un tanque de almacenamiento	94
Tabla 25. Efectos de falla de un tanque de almacenamiento	96
Tabla 26. Causas de falla de un Tea.....	98
Tabla 27. Efectos de falla de una Tea.....	99
Tabla 28. Limites de aceptabilidad del riesgo.....	122
Tabla 29. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo individual	123
Tabla 30. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo ambiental.....	124
Tabla 31. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo social	124
Tabla 32. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo socioeconómico.....	125

Lista de figuras

Figura 1. Proceso de gestión de riesgos	6
Figura 2. Diagrama conceptual de la investigación	10
Figura 3. Metodología para elaborar un análisis cuantitativo de riesgo	12
Figura 4. Ejemplo de la Red Bayesiana	13
Figura 5. Enfoque de ALARP	16
Figura 6. Diagrama metodológico	31
Figura 7. Área de estudio.....	33
Figura 8. Red bayesiana de análisis de riesgo para una bomba centrífuga.....	76
Figura 9. Red bayesiana de análisis de riesgo para un carrotanque	80
Figura 10. Red bayesiana de análisis de riesgo para un compresor centrífugo.....	84
Figura 11. Red bayesiana de análisis de riesgo para una línea de flujo	89
Figura 12. Red bayesiana de análisis de riesgo para un separador	93
Figura 13. Red bayesiana de análisis de riesgo para un tanque de almacenamiento	97
Figura 14. Red bayesiana de análisis de riesgo para una tea	101

Figura 15. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para una bomba centrífuga	102
Figura 16. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un carrotanque	102
Figura 17. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un compresor centrífugo	103
Figura 18. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para una línea de flujo	103
Figura 19. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un separador	104
Figura 20. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un tanque de almacenamiento	104
Figura 21. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para una tea	105
Figura 22. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para una bomba centrífuga	106
Figura 23. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un carrotanque.....	107
Figura 24. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un compresor centrífugo	107
Figura 25. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para una línea de flujo.....	108
Figura 26. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un separador.....	109
Figura 27. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un tanque de almacenamiento	110
Figura 28. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para una bomba centrífuga.....	111
Figura 29. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un carrotanque	112
Figura 30. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un compresor centrífugo.....	113
Figura 31. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para una línea de flujo.....	114
Figura 32. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un separador	115
Figura 33. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un tanque de almacenamiento ...	115
Figura 34. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para una tea	116
Figura 35. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para una bomba centrífuga	117
Figura 36. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un carrotanque.....	118
Figura 37. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un compresor centrífugo	119

Figura 38. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para una línea de flujo.....	119
Figura 39. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un separador.....	120
Figura 40. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un tanque de almacenamiento.....	121
Figura 41. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para una tea.....	122

Resumen

En el presente trabajo se propuso una metodología para realizar el análisis de los riesgos para las actividades del sector hidrocarburos. Inicialmente se identificaron los eventos amenazantes, siendo estos la llamarada, chorro de fuego, el derrame, la explosión, el blow out, escape de gas e incendio de piscina y los principales equipos asociados: bomba centrífuga, carrotanque, compresor centrífugo, línea de flujo, separador, tanque de almacenamiento y la tea. En cuanto a los elementos expuestos en campo se identificaron elementos expuestos los cuales fueron clasificados en categorías como elementos sociales, ambientales, socioeconómicos e individuales, igualmente a estos se les asignó un índice de importancia con base a su sensibilidad ambiental, para ponderar sus consecuencias. Para el análisis de riesgos y con la implementación del software GeNIe 3.0 Academic se realizaron redes bayesianas a los equipos citados, teniendo en cuenta las causas de las fallas, los efectos y sucesos finales asociados para evaluar el riesgo individual, riesgo ambiental, riesgo social y riesgo socioeconómico. Finalmente, para la generación de los niveles de aceptabilidad, se diseñó una escala de clasificación con base a la metodología ALARP y la matriz sugerida por la ISO 17776 de 2016, obteniendo como resultado tres límites de clasificación, aceptable con una probabilidad de riesgo de 0 a 0,4, tolerable con una probabilidad de riesgo de 0,4 a 0,7 y, por último, inaceptable para la probabilidad de 0,7 a 1.

Palabras Clave: Eventos amenazantes, elementos expuestos, análisis de riesgo, red bayesiana, QRA, ALARP, causas, efectos, probabilidad, aceptabilidad.

Abstract

In the research, a methodology was proposed to perform the risk analysis for the activities of the hydrocarbon sector. Threatening events were initially identified, these being the flare, jet of fire, spill, explosion, blow out, gas leak and pool fire and the main associated equipment: centrifugal pump, tank car, centrifugal compressor, flow line, separator, storage tank and tea. Regarding the elements exposed in the field, exposed elements were identified which were classified into categories such as social, environmental, socioeconomic and individual elements, also an index of importance was assigned based on their environmental sensitivity, to weigh their consequences. For the risk analysis and with the implementation of the GeNle 3.0 Academic software, Bayesian networks were performed on the aforementioned equipment, taking into account the causes of the failures, the effects and associated final events to assess individual risk, environmental risk, social risk and socioeconomic risk. Finally, to generate the levels of acceptability, a classification scale was designed based on the ALARP methodology and the matrix suggested by ISO 17776 of 2016, obtaining as a result three classification limits, acceptable with a risk probability of 0 at 0.4, tolerable with a risk probability of 0.4 to 0.7 and, finally, unacceptable for the probability of 0.7 to 1.

Key Words: Threatening events, exposed elements, risk analysis, Bayesian network, QRA, ALARP, causes, effects, probability, acceptability.

Introducción

Sucesos como derrames de petróleo, explosiones, incendios, fugas y colapsos de estructura entre otros, son riesgos asociados al sector de hidrocarburos y sus derivados, causando así pérdida de vidas humanas, daños a la infraestructura y al medio ambiente (Broker, 2017). Según la base de datos (The Energy-related Severe Accident Database (ENSAD), 2020) en los últimos 20 años en Colombia se han registrado aproximadamente 50 accidentes, donde su mayoría se presentan en los procesos de transporte por líneas de flujo o de extracción de hidrocarburos; 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).

En cuanto a la gestión del riesgo las instituciones gubernamentales son las principales responsables de estos procesos, 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.

El presente documento tiene como objetivo generar una metodología para el análisis de riesgo de las actividades de exploración y explotación del sector hidrocarburo, siguiendo el objetivo de la sostenibilidad, generando recursos energéticos de una manera económica, medio

ambiental y socialmente sostenible; lo anterior respondiendo a la pregunta ¿Cuál metodología de análisis de riesgo permite asegurar la gestión del riesgo para el sector hidrocarburos?

Para llevar a cabo la generación de la metodología se realizaron visitas a las áreas donde opera el sector hidrocarburos con el fin de identificar las condiciones locativas de cada área y se solicitó información de algunos planes de gestión del riesgo elaborados por Seruans Environment S.A.S, con el fin de realizar un inventario de la infraestructura y equipos que se utilizan, identificando las amenazas que estos acarrearán.

Asimismo, por medio de visitas a campo se identificaron y estandarizaron los elementos expuestos que se encuentran dentro del área de influencia de los proyectos del sector, analizando las consecuencias que los posibles eventos amenazantes pueden tener sobre ellos.

Por otro lado, se llevó a cabo la implementación de redes bayesiana para el análisis de los riesgos individual, social, socioeconómico y ambiental, teniendo claridad de las causas y efectos de falla de los principales equipos utilizados en el sector y generando niveles de aceptabilidad del riesgo para el mismo.

Este documento se divide en once (11) ítems. El primero hace referencia a la presente introducción; seguido de la justificación de la investigación y los objetivos del proyecto, en el cuarto se presenta la ubicación de las áreas de estudio, seguido de un marco teórico y legal, en el séptimo se presenta la metodología empleada para la recolección de información y la elaboración de la metodología propuesta, en octavo lugar, los resultados y análisis, seguido de las conclusiones y referencias y, finalmente los anexos.

Justificación

La industria petrolera corresponde a la industria más intensiva en cuanto a inversión de capital en el mundo (Lopez et al., 2012), la cual desarrolla actividades de exploración, producción, transporte y refinación de petróleo. La proximidad de estas industrias a los centros poblados, expone a las comunidades, elementos naturales, industrias e infraestructura a grandes riesgos (Suarez-Paba et al., 2020).

Estos hechos han llevado a que las entidades gubernamentales colombianas emitan la ley 1523 de 2012 y el decreto 2157 de 2017, las cuales hacen referencia a que todas las instalaciones industriales están obligadas a realizar un análisis de riesgos para así considerar posibles efectos de desastres y gestión de los mismo (Decreto 2157 de 2017). También, la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales (ANLA, 2018) expone que se debe presentar y describir la metodología utilizada para el análisis y valoración del riesgo ambiental, social, socioeconómico e individual dentro del conocimiento del riesgo.

Normas como las NFPA han sido establecidas con el fin de brindar una asesoría a nivel mundial sobre incendios y otros peligros, para el caso de exploración y explotación de hidrocarburos se pueden tener en cuenta las normas NFPA 1600 (Norma sobre Administración de Emergencias/Desastres y Programas para la Continuidad del Negocio/ Continuidad de Operaciones), es una norma que se establece frente a todo tipo de peligro, es aplicable a cualquier tipo de organización y permite conocer los criterios para la administración de emergencias y desastres y la continuidad de los negocios aun después de una emergencia.(NFPA 1600, 2016). Por otro lado, las operaciones de exploración y explotación de hidrocarburos son susceptibles a la ocurrencia de incendios, por lo cual es viable analizar la NFPA 501(Guía para la evaluación de los riesgos de incendio), como su nombre lo dice esta norma ofrece una guía de apoyo para quienes pretenda realizar una evaluación de riesgo de

incendios (por sus siglas en ingles FRA) proponiendo la revisión técnica y documentación necesaria para un FRA.

Estas normas no permiten un desarrollo claro de los programas de análisis de riesgo para el sector de hidrocarburos, ya que por un lado la NFPA 1600 se encuentra de manera muy generalizada abarca muchos riesgos y como tal no describe una metodología o manual que permita el desarrollo óptimo del análisis de riesgo, y se centra más en los procesos de continuidad de las empresas después de la eventualidad. Y la NFPA 551 evalúa únicamente el riesgo de incendio, describe el tipo de documentación y los procesos de revisión técnica necesarios para hacer la evaluación del riesgo, por ello no permite hacer la determinación de la aceptabilidad del riesgo.

La empresa Ecopetrol diseño su propia guía de análisis de riesgo tecnológico para el sector hidrocarburos, a través del análisis de riesgo de tipo ambiental, socioeconómico, individual y social, igualmente establece criterios de aceptabilidad del riesgo (ECOPETROL,2013), esta es una guía que describe los escenarios de riesgo de acuerdo a los procesos de operación de esta empresa. Por tal motivo, la implementación de esta metodología no puede ser aplicada a todas las empresas. Por otro lado, al leer la metodología no es muy fácil de entender por lo que es difícil su aplicación

El diseño de una metodología para el análisis de riesgo para el sector de hidrocarburos, contribuye a la adecuada formulación y presentación de un plan de gestión de riesgo, lo que permite garantizar el conocimiento y la alerta temprana de los riesgos, así como la reducción de los mismos.

Objetivos

Objetivo General

Generar una metodología para el análisis de riesgo de las actividades de exploración y explotación del sector hidrocarburos.

Objetivos Específicos

- Evaluar los eventos amenazantes de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos del sector hidrocarburos.
- Clasificar los elementos expuestos vulnerables en las áreas de influencia de los proyectos del sector hidrocarburos.
- Valorar los riesgos individual, ambiental, social y socioeconómico para el sector hidrocarburos.

Marco Teórico

Gestión de Riesgo

La formulación del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres cuenta con (1) conocimiento del riesgo, (2) reducción del riesgo y (3) manejo de desastres, en donde en el proceso de conocimiento del riesgo tiene consigo la identificación y descripción de las actividades, de elementos expuestos, la valoración del riesgo (identificación del riesgo, análisis del riesgo, evaluación del riesgo) y el monitoreo del riesgo. En la Figura 1 se relaciona el proceso de gestión de riesgos.

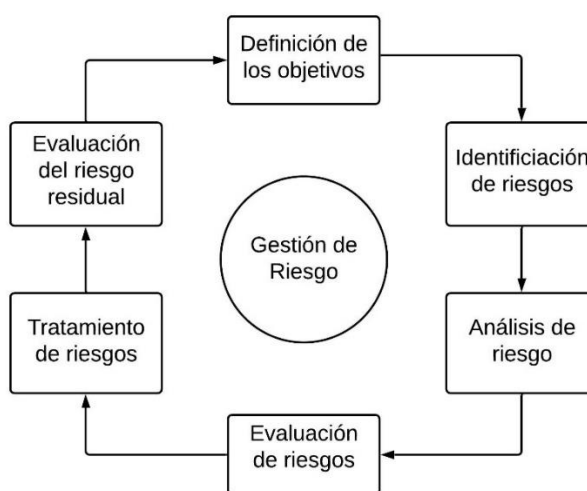


Figura 1. Proceso de gestión de riesgos

Fuente: Morano et al., n.d.

Amenaza

La amenaza es la probabilidad de que un fenómeno físico de origen tecnológico, natural o antrópico ocurra y, a que 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).

En cuanto a las amenazas de origen natural, se define como la posibilidad de ocurrencia de fenómenos severos provenientes de la naturaleza, tales como terremotos, volcanes, inundaciones, sequías, deforestación, tsunamis, huracanes, derrumbes, desertificación y epidemias (Cardona O., 2001). Según la (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2020) en los últimos años las pérdidas a nivel mundial causada por los desastres naturales han incrementado a más de 100.000 millones de dólares.

Por otro lado, las amenazas de origen antrópico son originadas por la actividad humana en producción, distribución, transporte y consumo de bienes y servicios y en la construcción y uso de infraestructura y edificios; algunas de las amenazas de origen antrópico son: explosiones, accidentes, contaminación, incendios, etc (Maskrey & Cardona, 1993).

Un fenómeno de origen tecnológico u operacional es aquel originado por la acción directa del hombre, relacionado con accidentes tecnológicos o industriales, procedimientos peligrosos, fallos de infraestructura, que puedan causar lesiones, daños materiales y/o la muerte, entre ellos se encuentran los accidentes de tránsito, explosiones, derrames de hidrocarburos, incendios en edificaciones sociales e industriales, derrumbes, entre otros (UNGRD, 2017).

El sector de hidrocarburos es una industria muy activa, la cual acarrea con una gran variedad de eventos amenazantes, según (Martínez, 2013) el transporte puede ocasionar el deterioro de equipos y maquinarias y la accidentalidad en la ruta debido al mal estado de la vía, mala conducción, falta de revisión mecánica del vehículo o tránsito pesado en la vía. En cuanto a los eventos amenazantes de tipo operacional, se dan al manipular la maquinaria, equipos y operación con el crudo y sus derivados, como consecuencia de estos hay daño de equipos y

maquinaria, pérdidas de herramientas y elementos o partes del equipo; igualmente puede ocurrir una liberación incontrolada de crudo de un pozo, explosiones y/o derrames.

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).

Vulnerabilidad

Es 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 un evento amenazante se presente (UNGRD, 2017).

La vulnerabilidad tiene una estrecha relación con los elementos expuestos, los cuales son aquellos que están bajo un riesgo, como la población, las obras civiles y/o monumentos, las diferentes actividades económicas, la prestación de servicios públicos y demás infraestructura en un área determinada (Cardona, n.d.), es decir, hacen referencia a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización puede ser afectados por la manifestación de una amenaza (Ley 1523, 2012)

Análisis de riesgo

El análisis de riesgo es el proceso por el cual se comprende la naturaleza del riesgo para así poder determinar el nivel del riesgo, este análisis es la base para la evaluación de riesgos y la toma de decisiones sobre la reducción de los mismos y la preparación para la respuesta (UNGRD, 2017).

Según la (ANLA, 2018) en su Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales, la Ley 1523 de 2012 y el Decreto 2157 de 2017 el análisis y valoración del riesgo debe incluir el análisis de los riesgos individual, social, socioeconómico y ambiental.

El riesgo individual hace referencia a la 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). La probabilidad de que un grupo de más de X número de personas mueran a causa de un accidente proveniente de una actividad peligrosa, es conocido como riesgo social; en donde este causa normalmente genera mayor reacción pública que el riesgo individual (Gong et al., 2020).

El riesgo ambiental es considerado como la evaluación cuantitativa o cualitativa del peligro de un impacto adverso en el medio ambiente, 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).

El riesgo socioeconómico es el resultado de la afectación indirecta y directa en conjunto con las afectaciones a nivel social y socio económico, determinadas 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).

Los riesgos de tipo Natech son aquellos accidentes industriales asociados a los peligros naturales, es decir, los accidentes industriales causados por un evento natural como un incendio, terremoto, deslizamiento de tierra, etc (Suarez-Paba et al., 2020). Por lo tanto, para el presente

estudió se propone una definición de amenaza natech, como la probabilidad que un evento natural logre desencadenar un evento de origen tecnológico que pueda causar lesiones, daños materiales y/o la muerte.

En la Figura 2 se relaciona el diagrama conceptual de la presente investigación.



Figura 2. Diagrama conceptual de la investigación

Fuente: Propia, 2020

Normas NFPA

Las normas NFPA, son códigos establecidos desde el año 1986 dedicados a la asesoría mundial en seguridad contra incendio, eléctrica y edificaciones, destinados a proteger vidas y bienes contra los efectos devastadores de los incendios y otros peligros. (NFPA, 2019).

NFPA 1600

Esta norma establece un conjunto de criterios para la administración de emergencias y desastres y programas de continuidad de los negocios, aplicables a todas las entidades públicas, entes no gubernamentales, entidades sin ánimo de lucro, e instituciones privadas.

Los elementos de la norma NFPA 1600 son la identificación de peligros y evaluación de riesgos; mitigación de peligros; administración de recursos; planificación; dirección, control, coordinación; y comunicación y prevención. Otros elementos incluyen operaciones y

procedimientos; logística e instalaciones; entrenamiento; ejercicio, evaluación y acciones correctivas; comunicación de crisis; educación pública; información; y finanzas y administración. (NFPA 1600, 2016).

NFPA 551

Esta norma está diseñada como una guía en el análisis de la adecuación y ejecución de la evaluación de riesgo de incendio, describe la documentación y la revisión técnica para la evaluación del riesgo de incendio, sin presentar los métodos para la demostración de la aceptabilidad del riesgo (NFPA 551, 2016)

Análisis Cuantitativo de Riesgo (QRA)

El QRA es una herramienta ampliamente utilizada para evaluar la frecuencia de un evento y sus consecuencias mensurables en la gestión de riesgos (Smith, 2017). Aplicada a riesgos industriales como lo es la exploración y explotación de hidrocarburos. El principal objetivo de la QRA es calcular la probabilidad de que ocurra un riesgo específico en una actividad o proceso y finalmente, desarrollar un modelo QRA para la determinación del riesgo numérico mencionado anteriormente (Steijn et al., 2020).

La metodología para la elaboración de un análisis cuantitativo de riesgo (QRA) se puede observar en la Figura 3. Cabe aclarar que para la identificación de los sucesos no deseados, se utiliza una base de datos, al igual que la metodología analítica HAZOP, la cual se basa en analizar el proceso, la operación, los equipos, infraestructura, y los factores externos, para conocer los riesgos de la actividad (Freedman, 2003).

El análisis de HAZOP consta de la identificación de tres (3) elementos:

1. La causa del riesgo
2. Las consecuencias de la exposición al riesgo
3. Los controles de prevención de la causa o mitigación de las consecuencias del riesgo

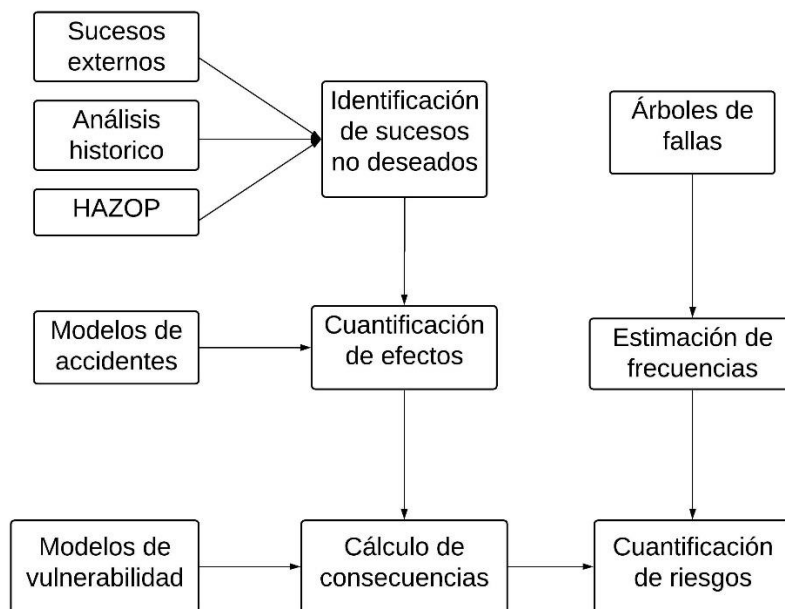


Figura 3. Metodología para elaborar un análisis cuantitativo de riesgo

Fuente: Leza Escriña y Asociados LEA, 2015

La metodología de análisis cuantitativo de riesgos (QRA), está integrada en el diseño y operación de proyectos e instalaciones de petróleo y gas. Los resultados del análisis cuantitativo de riesgo se utilizan principalmente para la toma de decisiones sobre el manejo de los desastres y la planificación territorial (Unnikrishnan, 2020).

Red Bayesiana (RB)

Una red bayesiana es una representación gráfica definida por un conjunto de nodos y arcos dirigidos (Ver Figura 4), en donde el nodo tiene una tabla de probabilidad asociada llamada tabla de probabilidad condicional (Unnikrishnan, 2020). La RB es una alternativa viable y/o metodología que complementa el análisis cuantitativo de riesgo (QRA). Las redes bayesianas modelan un fenómeno mediante un conjunto de parámetros dependientes entre sí y con esto se estima la probabilidad posterior de las variables o parámetros no conocidos. La red bayesiana tiene diversas aplicaciones, entre ellas la clasificación, predicción, análisis, diagnóstico, etc. (Sucar, 2011).

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).

La aplicación del método probabilístico de red bayesiana (RB), tiene las siguientes aplicaciones:

1. Presentar el riesgo de manera visual y de fácil comprensión
2. Tener la seguridad de aplicar una metodología transparente
3. El perfil de riesgo se puede actualizar fácilmente
4. Los datos del área bajo estudio y la opinión de las personas puede ser incorporado
5. Las causas interconectadas pueden ser completamente exploradas
6. La RB se puede simular en modo predictivo y diagnóstico, ya que, relaciona las causas y efectos en un modelo

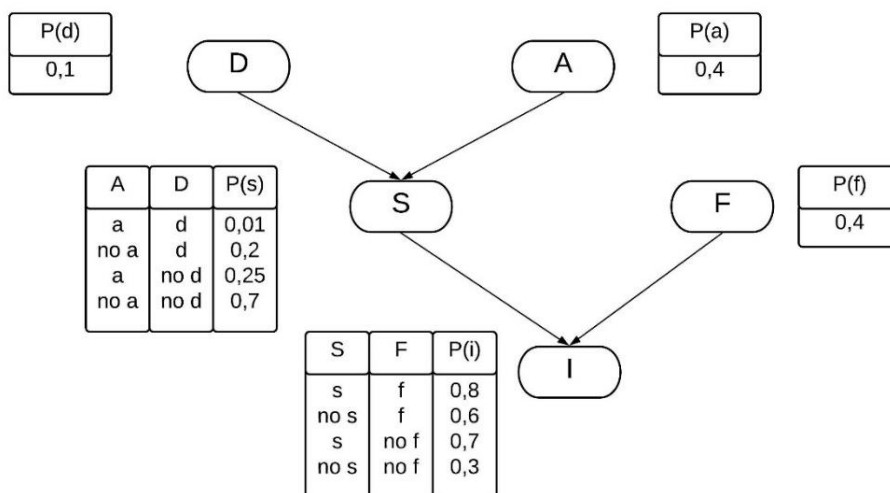


Figura 4. Ejemplo de la Red Bayesiana

Fuente: (Castañesa & Muruugarra, 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:

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

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

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

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:

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

Aceptabilidad y tolerabilidad de riesgo

Un riesgo es aceptable cuando vale la pena ser tomado en función de los beneficios esperados, y para los cuales encontrar maneras de reducirlo son inexistentes. Por otro lado un riesgo es tolerable cuando de igual manera vale la pena ser tomado en función de los beneficios esperados, sin embargo, permanecen bajo control y vigilancia (Tchiehe & Gauthier, 2017). Según lo anterior, el riesgo aceptable constituye un subconjunto del riesgo tolerable.

Teniendo en cuenta los valores, la cultura y el contexto del entorno o la sociedad en la que se encuentran las personas, el riesgo aceptable o el riesgo tolerable implican la decisión de admitir que un riesgo es bajo o controlado en una situación específica (Tchiehe & Gauthier, 2017).

Se debe tener en cuenta que el riesgo cero no existe, por lo que es necesario establecer un criterio de tolerabilidad, sin embargo cuando un riesgo es considerado como tolerable no significa que sea un riesgo insignificante, por el contrario se debe analizar y reducir como sea posible (Repsol et al., 2012). En los últimos años se han implementado algunas metodologías para calcular la aceptabilidad del riesgo, a continuación, se mencionan algunas de estas:

Principio de precaución (PP). El principio de precaución (PP), es utilizado cuando hay dudas de que una actividad pueda causar daño a la salud o al medioambiente, por lo tanto en este se toman medidas para la reducción de posibles sucesos o daños (Roqué et al., 2015). El principio de precaución es importante para la toma de decisiones ante la incertidumbre cuando este muestra que se deben tomar precauciones razonables para hacer frente a las amenazas o riesgos (Pike et al., 2020).

Análisis Costo – Beneficio (CBA). En el CBA se asume que todo tiene un valor que se puede expresar en dinero, lo cual conduce a la toma de decisiones entorno a ello. El uso del análisis costo – beneficio reduce la cuestión de la aceptabilidad al riesgo (Ale et al., 2015).

As Low As Reasonably Practicable (ALARP). Los riesgos identificados deben ser reducidos a un nivel ALARP, es decir, se deben implementar medidas de reducción, teniendo en cuenta que los costos no sean desproporcionados a los beneficios obtenidos. La aplicación de esta metodología se da cuando el riesgo se encuentra en la región de tolerabilidad, la cual está entre el nivel de riesgo intolerable (Ver Figura 5) y el nivel de riesgo insignificante o aceptable (Langdalen et al., 2020). Este principio ofrece la oportunidad de que los responsables de la actividad industrial tomen las decisiones para la mitigación de los riesgos (Pike et al., 2020).

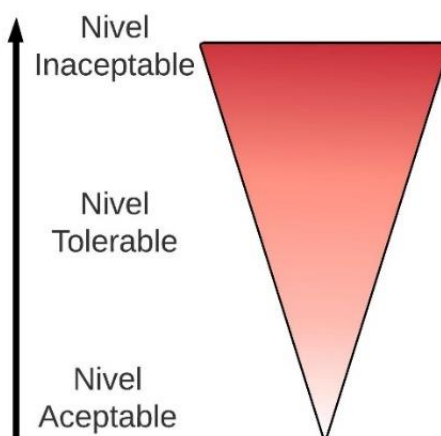


Figura 5. Enfoque de ALARP

Fuente: (Tchiehe & Gauthier, 2017)

ISO 17776 de 2016. Este documento describe los procesos para gestionar los peligros mayores o accidentes durante el diseño, instalación y producción de petróleo y gas (International Standard, 2016). En esta se presenta una matriz en donde se definen cinco clases de gravedad y seis categorías de frecuencia como se puede observar en la Tabla 1. Esta matriz es utilizada para ubicar y/o conocer los límites de riesgos (Bucelli et al., 2018).

Tabla 1. Matriz de riesgos

Consecuencias a evaluar	Frecuencias					
	0	A	B	C	D	E
Consecuencia 1					Mejora continua	
Consecuencia 2				Medidas de reducción de riesgo		
Consecuencia 3				Riesgo intolerable		
Consecuencia 4						
Consecuencia 5						

Fuente: (Bucelli et al., 2018)

Marco Legal

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD)

Según la (Ley 1523, 2012b), artículo 8 el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres está compuesto por entidades públicas “por su misión y responsabilidad en la gestión del desarrollo social, económico y ambiental sostenible, en los ámbitos sectoriales, territoriales, institucionales y proyectos de inversión”, por entidades privadas “con ánimo y sin ánimo de lucro; por su intervención en el desarrollo a través de sus actividades, culturales y participativas”, como también la comunidad “por su intervención en el desarrollo a través de sus actividades económicas sociales, ambientales, culturales y participativas”

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres está compuesto por (UNGRD, 2018):

- Presidente de la República: delegado a conducir al Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SNGRD.
- Consejo nacional para la Gestión del riesgo: encargado de orientar todo el SNGRD, encabezado por el presidente de la república, con la participación de ministros, el departamento de Planificación Nacional y el director de la Unidad Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNGRD).
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD: este organismo gubernamental es el encargado de liderar la implementación de la gestión del riesgo de desastres y coordinar el SNGRD. La UNGRD está conformada por el comité de conocimiento del riesgo, el comité de reducción del riesgo y el comité manejo de desastres.

- Gobernador: encargado a nivel departamental de implementar los procesos de conocimiento y reducción del riesgo y de manejo de desastres.
- Alcalde: encargado a nivel municipal de implementar los procesos de gestión del riesgo.

Normatividad Nacional Aplicable

Teniendo en cuenta lo estipulado por el sector de hidrocarburos, el cual busca la preservación del medio ambiente, en conjunto con la infraestructura interna y externa al desarrollo de sus proyectos, este trabaja de la mano con la normatividad colombiana, para el conocimiento, reducción y manejo de los riesgos asociados al sector de hidrocarburos.

A continuación, en la Tabla 2 se expone la legislación colombiana aplicable a la presente investigación.

Tabla 2. Normatividad nacional aplicable

Norma	Año	Entidad	Contenido
Ley 23	1973	Congreso de Colombia	Se conceden facultades extraordinarias al presidente para expedir el Código de Recursos Naturales y Protección al Medio Ambiente y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2811	1974	Presidente de la República de Colombia	Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y Protección del Medio Ambiente. Título VIII - De Las Emergencias Ambientales: Artículo 31.
Ley 09	1979	Congreso de Colombia	Código Sanitario Nacional. Título VIII - Desastres, Artículos 492, 493, 501, 505.

Norma	Año	Entidad	Contenido
Decreto 842	1987	Presidente de la República de Colombia	Referente a la integración del Comité Nacional de Emergencias creado en el Artículo 492 de la Ley 9/79.
Ley 39	1987	Congreso de Colombia	Disposiciones sobre la distribución del Petróleo y sus derivados.
Ley 46	1998	Congreso República	Creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD).
Decreto 609	1990	Ministerio de Minas y Energía	Reglamentación código de petróleos referente al servicio público de transporte, distribución y suministro de gas natural.
Decreto 283	1990	Ministerio de Minas y Energías	Reglamentación del almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados de petróleo y el transporte por carro tanques
Constitución Política Nacional	1991	El Pueblo de Colombia	<p>Art. 8. Obligación del Estado y las personas a proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación.</p> <p>Art. 78. Control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad.</p> <p>Art. 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano.</p> <p>Art. 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales.</p>

Norma	Año	Entidad	Contenido
			Art. 95. Todas las personas están obligadas a cumplir la Constitución y las Leyes.
			Art. 215. Declaración del Estado de Emergencia.
			Art. 330. La explotación de los recursos naturales en los territorios indígenas se hará sin desmedro de la integridad cultural, social y económica de las comunidades indígenas.
			Art. 332. El Estado es propietario del subsuelo y de los recursos naturales no renovables.
			Art. 360. Condiciones para la explotación de los recursos naturales no renovables.
Ley 99	1993	Congreso de Colombia	<p data-bbox="927 1108 1425 1472">Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.</p> <p data-bbox="927 1507 1425 1577">Reglamentado por el Decreto Nacional 1713 de 2002,</p> <p data-bbox="927 1612 1425 1682">Reglamentada por el Decreto Nacional 4688 de 2005,</p> <p data-bbox="927 1717 1425 1787">Reglamentada parcialmente por el Decreto Nacional 3600 de 2007,</p>

Norma	Año	Entidad	Contenido
			Reglamentada por el Decreto Nacional 2372 de 2010
Decreto 2190	1995	Ministerio del Interior	Elaboración y desarrollo del Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en Aguas Marinas, Fluviales o Lacustres.
Ley 257	1996	Congreso República	Se aprueba el Convenio Internacional de Constitución de un Fondo Internacional de Indemnización, de daños causados por la Contaminación de Hidrocarburos. Suscrito en Bruselas en 1976.
Resolución 80505	1997	Ministerio de Minas y Energía	Reglamento técnico para el manejo, almacenamiento, comercialización mayorista y distribución de Gas Licuado del Petróleo.
Decreto Nacional 1521	1998	Presidente de la República de Colombia	Reglamentación del almacenamiento, manejo, transporte, distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo y el transporte por carro tanques de petróleo crudo.

Norma	Año	Entidad	Contenido
Ley 430	1998	Congreso República	Dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
NTC 1692	1998	ICONTEC	Transporte de mercancías peligrosas. Clasificación. Marcado, etiquetado y rotulado.
NTC 4532	1998	ICONTEC	Transporte de mercancías peligrosas. Tarjetas de emergencia para transporte de materiales. Elaboración
PNC	1999	DGPAD Dirección general de prevención y atención a desastres.	Plan Nacional de Contingencia contra Derrames de Hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en Aguas Marinas, Fluviales y Lacustres.
Ley 523	1999	Congreso de Colombia	Por medio de la cual se aprueba el "Protocolo de 1992 que enmienda el Convenio Internacional sobre responsabilidad civil nacida de daños debidos a contaminación por hidrocarburos, 1969", y el "Protocolo de 1992 que enmienda el Convenio Internacional sobre la constitución de un Fondo Internacional de Indemnización de daños debidos a contaminación por hidrocarburos, 1971", hechos en Londres, el veintisiete (27) de noviembre de mil novecientos noventa y dos (1992).

Norma	Año	Entidad	Contenido
Decreto 321	1999	Ministerio del Interior	Adopción del Plan Nacional de Contingencia Contra Derrames de Hidrocarburos, Derivados y Sustancias Nocivas en Aguas Marinas, Fluviales y Lacustres.
Decreto 2053	1999	Ministerio de Relaciones Exteriores	“Por el cual se promulga el “Convenio número 174 sobre la prevención de accidentes industriales mayores”, adoptado en la 80 reunión de la Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo en Ginebra el 22 de junio de 1993”.
Ley 599	2000	Congreso República	Contaminación ambiental culposa por explotación de yacimiento minero o hidrocarburo.
Resolución 0222	2000	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	“Por el cual se define el Plan de Manejo Ambiental como instrumento administrativo para la prevención y el control de los factores de deterioro ambiental en algunas actividades de exploración en el sector de hidrocarburos”.
Decreto 1609	2002	Ministerio de Transporte	“Por medio del cual se reglamentó el manejo y transporte automotor de mercancías peligrosas por carretera”
NTC 2801	2005	ICONTEC	Establece los requisitos que deben cumplir el transporte terrestre y el manejo de mercancías peligrosas de la Clase 3 “Líquidos Inflamables”

Norma	Año	Entidad	Contenido
Resolución 1275	2006	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Términos de referencia HI-TER-1-05. Estudio de Impacto Ambiental para conducción de fluidos por ductos en el sector de hidrocarburos.
Ley 1252	2008	Congreso de Colombia	Normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
Ley 1333	2009	Congreso de la República	Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones. Ver la Resolución del Min. Ambiente 415 de 2010, Ver la Resolución del Min. Ambiente 1424 de 2011
Resolución 1503	2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por medio de la cual se adopta la Metodología General para la presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones.
Decreto 3930	2010	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 4673	2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Por el cual se adiciona el artículo 38 de la Ley 1333 de 2009, y se dictan otras disposiciones para atender la situación de desastre nacional y de

Norma	Año	Entidad	Contenido
			emergencia económica, social y ecológica nacional'.
Decreto 4728	2010	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	<p data-bbox="954 453 1406 537">El Artículo 35 del Decreto 3930 de 2010 quedará así:</p> <hr/> <p data-bbox="954 579 1406 1262">Plan de Contingencia para el Manejo de Derrames de Hidrocarburos o Sustancias Nocivas. Los usuarios que exploren y exploten, manufacturen, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia y control de derrames, el cual deberá contar con la aprobación de la autoridad ambiental competente.</p> <hr/> <p data-bbox="954 1283 1406 1608">Cuando el transporte comprenda la jurisdicción de más de una autoridad ambiental, le compete el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial definir la autoridad que debe aprobar el Plan de Contingencia.</p>
Decreto 4147	2011	Departamento Administrativo de la Función Pública	<p data-bbox="954 1644 1406 1818">Por el cual se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y estructura.</p>

Norma	Año	Entidad	Contenido
Decreto 3573	2011	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se crea la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA.
Ley 1575	2012	Congreso de la Republica	Por medio de la cual se establece la Ley General de Bomberos de Colombia.
Ley 1523	2012	Presidente de la República de Colombia	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.
Resolución 1401	2012	Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible	Por la cual se señala el criterio para definir la autoridad ambiental competente para aprobar el plan de contingencia del transporte de hidrocarburos o sustancias nocivas de que trata el inciso 2 del artículo 3o del Decreto 4728 de 2010.
Decreto 2672	2013	Departamento administrativo de la función pública	Por el cual se modifica parcialmente la estructura de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (Decreto 4741 de 2011)
Decreto 1974	2013	Departamento administrativo de la presidencia de la república	Por el cual se establece el procedimiento para la expedición y actualización del Plan Nacional de Gestión del Riesgo.
Decreto 2041	2014	Presidente de la República de Colombia	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

Norma	Año	Entidad	Contenido
Decreto 1076	2015	Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Art. 2.2.2.3.9.3. Contingencias ambientales: Por el cual se señala que, si durante la ejecución de los proyectos obras o actividades sujetas a licenciamiento ambiental o plan de manejo ambiental ocurriesen incendios, derrames, escapes, parámetros de emisión y/o vertimientos por fuera de los límites permitidos o cualquier otra contingencia ambiental, el titular deberá ejecutar todas las acciones necesarias con el fin de hacer cesar la contingencia ambiental e informar a la autoridad ambiental competente.
Decreto 2434	2015	Ministerio de Tecnología de la información y las comunicaciones	Por la cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector de Tecnologías de la información y las comunicaciones; 1078 de 2015 para crearse el sistema nacional de telecomunicaciones de emergencias como parte del sistema nacional de gestión del riesgo y desastres.
Resolución 1767	2016	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se adopta el formato único para el reporte de las contingencias y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 308	2016	Presidencia de la república.	Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres.

Norma	Año	Entidad	Contenido
Proyecto Decreto Incorporación PNGRD - 25/01/2016	2016	Presidencia de la República	Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres “Una Estrategia de Desarrollo” para el periodo 2015 – 2025.
Decreto 2157	2017	Departamento Administrativo de la Presidencia de la República	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.
Resolución 1209	2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Adopta los términos de referencia Únicos para la elaboración de los planes de contingencia para el transporte de hidrocarburos derivados o sustancias nociva de que trata el artículo 2.2.3.3.4.14 del Decreto 1075 de 2015

Fuente: Propia, 2020

Metodología

Fase I: Cumplimiento del objetivo 1

Inicialmente se llevó a cabo un levantamiento de información primaria y secundaria de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos que el sector realiza, esto por una parte realizando una solicitud de información a la empresa Seruans Environment S.A.S de los Planes de Gestión de Riesgos elaborados por ellos, como también visitas a diferentes bloques de exploración y explotación en tres regiones del país (llanos orientales, valle medio de Magdalena y valle inferior del Magdalena) con el fin de identificar las condiciones locativas de las áreas y desarrollar un inventario de la infraestructura y equipos que utiliza el sector.

Por otro lado, se identificaron los eventos amenazantes y escenarios finales provenientes de las actividades y los equipos e infraestructura. Finalmente se seleccionaron unos eventos amenazantes específicos para realizar el análisis de riesgo.

Fase II: Cumplimiento del objetivo 2

Se identificaron y caracterizaron los elementos expuestos por cada región visitada en campo (llanos orientales, valle medio de Magdalena y valle inferior del Magdalena), como los asentamientos humanos (dispersos y nucleados), la infraestructura pública, los bienes de interés cultural, las empresas e infraestructura que manejan sustancias peligrosas, los sitios de captación de agua, la fauna, las viviendas, las actividades productivas y las áreas ambientalmente sensibles. Con lo anterior se realizó una clasificación de los elementos expuestos para tener claridad de que elementos expuestos se utilizan para el cálculo y análisis de los riesgos ambiental, individual, social y socioeconómico.

Posteriormente, a los elementos expuestos identificados y clasificados se les asignó un índice de importancia para ser utilizado en el análisis de riesgo, este índice de acuerdo a los servicios ecosistémicos ofrecidos y la sensibilidad del elemento.

Fase III: Cumplimiento del objetivo 3

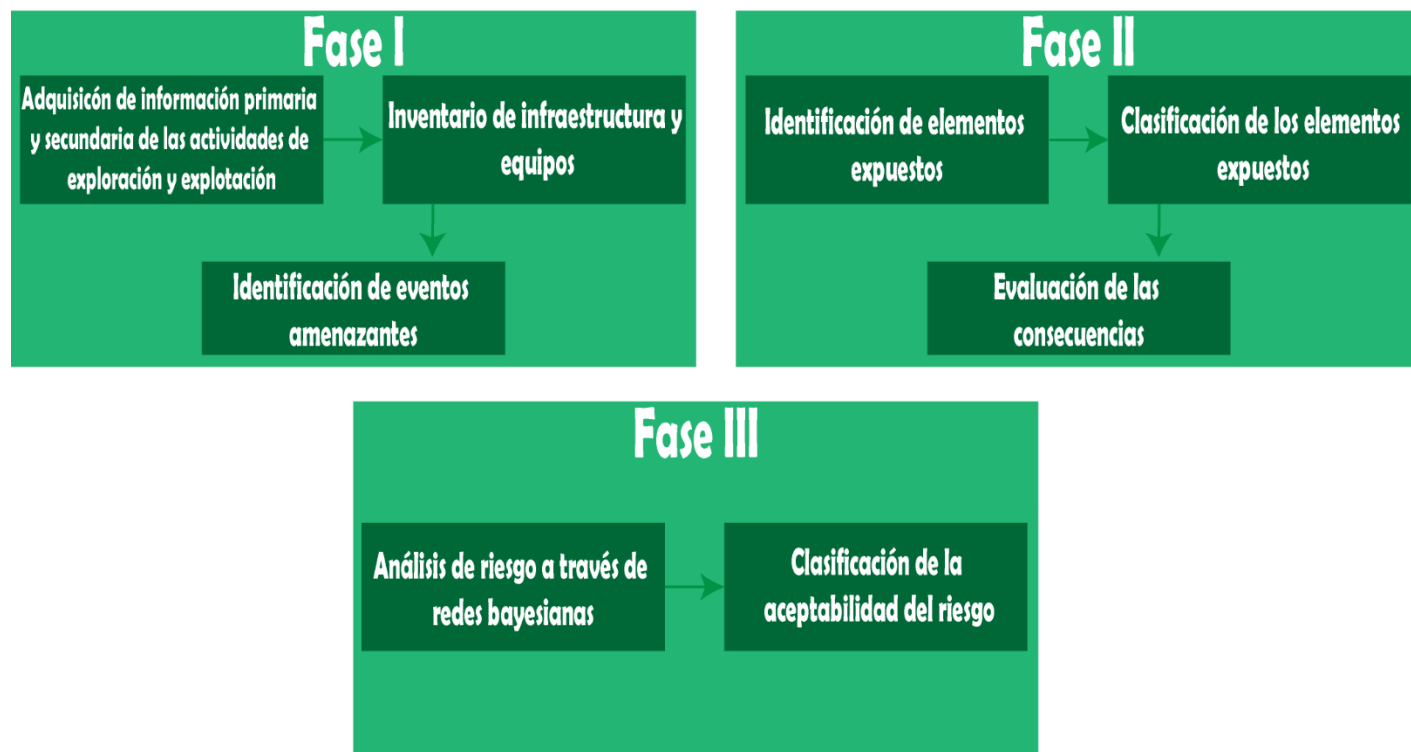
Luego de realizar una búsqueda de metodologías nacionales e internacionales para el cálculo y análisis de los riesgos individual, ambiental, social y socioeconómico. Se decidió realizar el análisis mediante la implementación de redes bayesianas. Para llevar a cabo las redes bayesianas se utilizó el software GeNIe 3.0 Academic el cual realiza el cálculo de probabilidad automático y arrojando resultados confiables. Para el manejo de dicho programa es necesario tener claridad de las causas de las fallas y efectos con sus debidos porcentajes de probabilidad. Para la implementación de esta herramienta se usaron casos de estudio específicos del libro del libro “Oil and Gas Processing Equipment” (Unnikrishnan, 2020), el cual muestra las causas específicas de los principales equipos.

Finalmente se generaron los límites de aceptabilidad del riesgo, realizando un cruce de la metodología ALARP y la matriz de riesgos sugerida en la ISO 17776 de 2016, así

La matriz de riesgos sugerida por la ISO 17776 de 2016 tiene 5 grados o celdas para consecuencias o sucesos finales y 6 grados o celdas para la frecuencia de los eventos amenazantes, con un total de 30 grados o celdas. En la Tabla 1 se observa que hay 12 grados o celdas pertenecientes al nivel de “mejora continua” lo que corresponde a un 40%, es decir, las probabilidades de 0 – 0,4 (40%) hace referencia al nivel de aceptable. En el nivel de “medidas de reducción del riesgo” hay 9 grados o celdas en este, lo que corresponde al 30%, es decir, las probabilidades de 0,4 (40%) – 0,7 (70%) hace referencia al nivel tolerable. Finalmente, para el nivel de riesgo intolerable las probabilidades de 0,7 (70%) – 1 (100%) hace referencia al nivel inaceptable.

En la Figura 6 se puede observar el diagrama metodológico de la presente investigación.

Figura 6. Diagrama metodológico



Fuente: Propia, 2020

Resultados y Análisis

Fuentes de información

Para esta investigación se tomó como referencia la información de nueve (9) Planes de Gestión de Riesgo (PGR) para las actividades de exploración y explotación.

A continuación, se muestra cada uno de los bloques, al igual que su localización (Ver Figura 7)

- Área de Desarrollo Boranda
- Área de Desarrollo VMM-46
- Área de Desarrollo VIM-1
- Bloque SSJN5
- Campo de producción Guatiquía
- Bloque de Explotación de Hidrocarburos CPE-6
- Bloque de Explotación Guama
- Bloque Cravoviejo
- Bloque Lla-64

Cabe aclarar que los Planes de Gestión de Riesgos (PGR) de los proyectos mencionados fueron suministrados y realizados por la empresa de consultoría e interventoría ambiental Seruans Environment S.A.S con información recolectada en las salidas de campo realizadas.

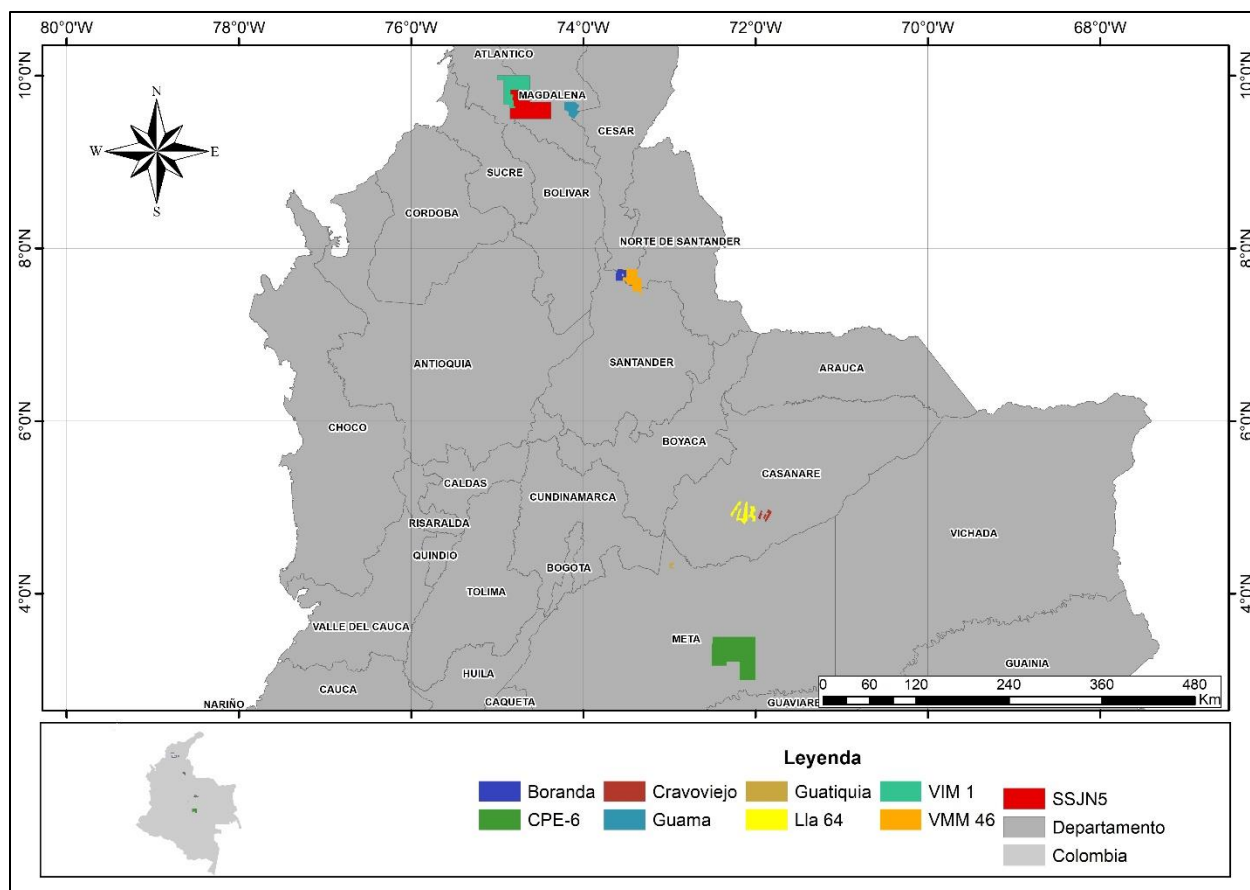


Figura 7. Área de estudio

Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos(ANH), 2020

Eventos amenazantes

En esta sección se exponen las actividades realizadas por los operadores mencionados anteriormente en todas las etapas y sub etapas que desarrollan dentro de la exploración y explotación de hidrocarburos y sus eventos amenazantes. Inicialmente en la Tabla 3 se presentan las actividades transversales realizadas por el sector de hidrocarburos y sus posibles amenazas.

Tabla 3. Actividades transversales y eventos amenazantes

Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
Información y acercamiento a la comunidad y entidades		Ninguno
Negociación de predios y servidumbres		Ninguno
Contratación de mano de obra		Ninguno
Generación de energía eléctrica y manejo de combustible	Origen Operacional	Contacto con sustancia químicas y/u otras
Manejo de productos químicos	Origen Operacional	Contacto con sustancia químicas y/u otras
Contratación de bienes y servicios		Ninguno
Movilización de personal, equipos, materiales y maquinaria	Origen Natural	Inundación
		Sismo
	Origen Operacional	Incendio Forestal
		Fallas operacionales causadas por los trabajadores
		Manipulación de cargas
	Caída de objetos	
	Accidentes vehiculares	
Movilización aérea de personal (Helipuerto)	Origen Operacional	Accidentes
Captación de aguas superficiales, exploración y captación de aguas subterráneas	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
		Caídas a nivel y desnivel
		Superficies deslizantes e inseguras
		Accidentes vehiculares
		Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
Gestión de residuos líquidos	Origen Operacional	Aforo del almacenamiento de las piscinas o frac tank

Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
Reúso de agua residual doméstica y no doméstica tratada mediante riego en vías	Origen Operacional	Accidentes vehiculares
		Fallas operacionales causadas por los trabajadores
		Contacto con sustancia químicas y/u otras

Fuente: Seruans Environment S.A.S, 2020

En la Tabla 4 se pueden observar las actividades llevadas a cabo en la etapa de construcción con sus respectivos eventos amenazantes.

Tabla 4. Actividades en la etapa de construcción y sus eventos amenazantes

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
Obras asociadas a la construcción de Vías, Plataforma multipozo y Facilidades de Producción	Remoción de cobertura vegetal y descapote	Origen Natural	Inundación
			Sismo
			Incendio Forestal
		Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
			Manipulación de herramientas (cortantes)
			Manipulación de cargas
			Caídas a nivel y desnivel
Superficies deslizantes e inseguras			

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
	Movimiento de tierras (Excavaciones, cortes y rellenos)	Origen Operacional	Superficies deslizantes e inseguras Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas) Accidentes vehiculares Alto nivel de ruido
	Almacenamiento, extendido y compactación de materiales de construcción	Origen Operacional	Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas) Caídas a nivel y desnivel Fallas operacionales causadas por los trabajadores
	Construcción y manejo de ZODME	Origen Operacional	Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas) Caídas a nivel y desnivel Fallas operacionales causadas por los trabajadores Superficies deslizantes e inseguras
	Conformación de terraplenes y taludes	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores Caídas a nivel y desnivel Superficies deslizantes e inseguras Accidentes vehiculares

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
	Construcción y/o adecuación de vías de acceso	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Superficies deslizantes e inseguras
	Construcción de obras de drenaje (Ocupaciones de Cauce)	Origen Operacional	Alto nivel de ruido
			Caídas a nivel y desnivel
	Conformación del derecho de vía (desmante y descapote)	Origen Operacional	Accidentes vehiculares
Líneas de Flujo	Manejo de tubería (acopio, tendido y doblado)	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Manipulación de herramientas (cortantes)
			Manipulación de cargas

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Caída de objetos
		Origen Antrópico	Actividades criminales
	Zanjado y enterrado	Origen Operacional	Alto nivel de ruido
			Manipulación de herramientas (cortantes)
			Manipulación de cargas
			Superficies deslizantes e inseguras
			Accidentes vehiculares
	Cruce de cuerpos de agua en marco H	Origen Operacional	Manipulación de herramientas (cortantes)
			Superficies deslizantes e inseguras
			Caída de objetos
		Origen Antrópico	Actividades criminales
	Cruce de cuerpo de agua subfluvial (PHD)	Origen Operacional	Manipulación de herramientas (cortantes)
			Superficies deslizantes e inseguras
			Caída de objetos
		Origen Antrópico	Actividades criminales
	Cruce de vía (excavación zanja abierta)	Origen Operacional	Manipulación de herramientas (cortantes)
			Superficies deslizantes e inseguras
			Caída de objetos

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Accidentes vehiculares
			Manipulación de herramientas (cortantes)
			Superficies deslizantes e inseguras
	Soldadura, prueba radiográfica y pintura	Origen Operacional	Caída de objetos
			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
			Caídas a nivel y desnivel
			Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
	Prueba hidrostática o neumática	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
		Origen Tecnológico	Blow Out
		Origen Antrópico	Actividades criminales
Campamentos temporales	Montaje y operación de campamento de obras civiles	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores

Fuente: Seruans Environment S.A.S, 2020

En la Tabla 5 se evidencian las actividades realizadas en la etapa de montaje y operación y sus posibles riesgos.

Tabla 5. Actividades en la etapa de montaje y operación y, sus eventos amenazantes

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
Perforación de Pozos	Montaje y operación de campamento de perforación	Origen Antrópico	Actividades criminales
		Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Accidentes vehiculares
	Montaje de infraestructura y equipos	Origen Antrópico	Actividades criminales
		Origen Operacional	Caídas a nivel y desnivel
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
			Inundación
	Operación del taladro de perforación y desarrollo de las actividades propias de perforación	Origen Natural	Sismo
			Incendio forestal
Tormentas Eléctricas			
Vendavales			
Origen Antrópico		Movimientos en Masa	
		Origen Antrópico	Terrorismo

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Paro de la comunidad
			Paro de trabajadores y/o contratista
			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
			Altas temperaturas
			Incendio estructural
			Accidentes vehiculares
			Blow Out
		Origen Operacional	Lost in hole
			Fallas eléctricas
			Fallas en la cementación del pozo
			Superficies deslizantes e inseguras
			Derrame y/o escape de sustancias químicas
			Caídas a nivel y desnivel
			Contacto con sustancias químicas y/u otras

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
	Generación de energía eléctrica (Diesel)	Origen Operacional	Incendio estructural
			Manipulación de herramientas (cortantes)
	Manejo de lodos y cortes de perforación	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Contacto con sustancias químicas y/u otras
		Origen Tecnológico	Explosión
			Incendio estructural
			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
			Altas temperaturas
	Pruebas de producción y funcionamiento de la tea y/o quemadores	Origen Operacional	Manipulación de herramientas (cortantes)
			Caída de objetos
			Caídas a nivel y desnivel
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
	Pruebas de producción	Origen Tecnológico	Llamarada, piscina de fuego y chorro de fuego

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Derrame y/o escape de sustancias químicas
			Explosiones
			Escape de gas
			Alto nivel de ruido
			Incendio estructural
			Vibraciones
			Altas temperaturas
			Manipulación de herramientas (cortantes)
		Origen Operacional	Caída de objetos
			Caídas a nivel y desnivel
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Secuestro y/o hurto de maquinaria, personal y/o equipos
			Quemaduras del personal
Facilidades de producción (operación)	Adecuación y operación del campamento permanente	Origen Antrópico	Actividades criminales
		Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Accidentes vehiculares
		Origen Antrópico	Actividades criminales
			Caídas a nivel y desnivel
	Montaje de infraestructura y equipos	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
			Incendio estructural
			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
			Altas temperaturas
		Origen Operacional	Manipulación de herramientas (cortantes)
			Caída de objetos
	Procesos de producción (separación de agua, crudo y gas) y funcionamiento de la tea		Caídas a nivel y desnivel
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
		Origen Tecnológico	Llamarada, piscina de fuego y chorro de fuego
			Derrames y/o escape de sustancias químicas
			Explosiones
			Escape de gas
			Blow Out
		Origen Antrópico	Actividades criminales

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
Reinyección y/o inyección	Montaje de infraestructura y equipos	Origen Operacional	Caídas a nivel y desnivel
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
	Operación de reinyección y/o inyección	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)
			Origen Tecnológico
Mantenimiento de la banca y obras de drenaje y de las líneas de flujo	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores	
		Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)	
		Caídas a nivel y desnivel	
		Manipulación de herramientas (cortantes)	
		Caída de objetos	
		Incendios en las instalaciones operativas	
		Alto nivel de ruido	
		Vibraciones	

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento	
			Altas temperaturas	
		Origen Tecnológico	Llamarada, piscina de fuego y chorro de fuego	
			Derrames y/o escape de sustancias químicas	
			Explosiones	
			Escape de gas	
	Workover		Fallas operacionales causadas por los trabajadores	
		Origen Operacional	Operaciones inadecuadas de los equipos (fallas mecánicas)	
			Caídas a nivel y desnivel	
			Manipulación de herramientas (cortantes)	
			Caída de objetos	
			Incendio estructural	
			Alto nivel de ruido	
			Vibraciones	
				Altas temperaturas
				Origen Antrópico
Transporte de fluidos	Transporte carrotanque		Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
		Accidentes vehiculares		
		Origen Tecnológico	Derrames y/o escape de sustancias químicas	
			Explosiones	

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
		Origen Antrópico	Terrorismo (voladura de tubería)
	Trasporte línea de flujo	Origen Tecnológico	Derrames y/o escape de sustancias químicas
			Explosiones

Fuente: Seruans Environment S.A.S, 2020

En la Tabla 6 se evidencian las actividades realizadas en la etapa post operativa y sus posibles eventos amenazantes.

Tabla 6. Actividades etapa post operativa y sus eventos amenazantes

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
		Origen Natural	Inundación
			Sismo
	Retiro de equipos y desmonte de infraestructura, desmantelamiento de obras de concreto, sellamiento de pozos y limpieza del área, cierre final de piscinas	Origen Antrópico	Incendio forestal
			Actividades criminales
			Paro de comunidades
			Paro de trabajadores y/o contratista
Desmantelamiento, Restauración y Abandono			Alto nivel de ruido
			Vibraciones
		Origen Operacional	Incendio estructural
			Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Caída de objetos
			Accidentes vehiculares

Sub etapa	Actividad	Categoría de la amenaza	Tipo de evento
			Superficies deslizantes e inseguras
			Caídas a nivel y desnivel
		Origen Tecnológico	Derrame y/o escape de sustancias químicas
			Explosiones
		Origen Antrópico	Paro de comunidades
	Reconformación morfológica y restablecimiento de la cobertura vegetal	Origen Operacional	Fallas operacionales causadas por los trabajadores
			Caídas a nivel y desnivel
			Superficies deslizantes e inseguras
			Accidentes vehiculares

Fuente: Seruans Environment S.A.S, 2020

Como se puede observar las actividades anteriormente mencionadas traen consigo una cantidad de eventos amenazantes de tipo natural, operacional y/o tecnológico, los cuales se pueden evaluar cualitativamente o cuantitativamente. Teniendo en cuenta que las compañías del sector de hidrocarburos tienen estandarizadas las metodologías para el análisis de riesgos cualitativos, se seleccionaron aquellos eventos amenazantes a los cuales se pueden valorar cuantitativamente. En la

Tabla 7 se pueden observar los eventos amenazantes que serán objetos de un análisis de riesgos cuantitativo.


Tabla 7. 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
Llamarada, incendio de piscina y chorro de fuego	Individual, social y socioeconómico
Explosiones	
Escape de gas	

Fuente: Propia, 2020

En la Tabla 8 se presentan algunos de los equipos e infraestructura que desencadenan los eventos amenazantes mencionados anteriormente.

Tabla 8. Equipos utilizados en el sector de hidrocarburos.




Equipo	Evento Asociado	Fotografía
Pozo	Chorro de fuego	
	Incendio de piscina	
	Incendio estructural	
	Llamarada	
	Explosiones	
	Blow Out	
	Derrame	
	Escape de gas	

Equipo	Evento Asociado	Fotografía
Separador	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Incendio estructural</p> <p>Llamarada</p> <p>Explosión</p> <p>Escape de gas</p>	
Tanque de almacenamiento	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Incendio estructural</p> <p>Llamarada</p> <p>Derrame</p>	
Gumbarrel	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Llamarada</p> <p>Derrame</p>	
Bomba de transferencia	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Llamarada</p>	

Equipo	Evento Asociado	Fotografía
Cargadero	Chorro de fuego Incendio de piscina Llamarada	
Colector	Chorro de fuego Incendio de piscina Llamarada	
Scrubber	Chorro de fuego Llamarada	
Knock Out Drum	Chorro de fuego Llamarada	

Equipo	Evento Asociado	Fotografía
Líneas de flujo	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Derrame</p> <p>Explosión</p> <p>Blow Out</p>	
Manifold	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Llamarada</p> <p>Derrame</p> <p>Explosión</p>	
Tanque de recuperación	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Llamarada</p>	
Tanque de cabeza	<p>Chorro de fuego</p> <p>Incendio de piscina</p> <p>Llamarada</p>	

Equipo	Evento Asociado	Fotografía
Tanque de prueba	Chorro de fuego Incendio de piscina Llamarada	
Tanque de crudo	Chorro de fuego Incendio de piscina Llamarada	
Bomba de inyección	Chorro de fuego Llamarada	
Bomba de alimentación	Chorro de fuego Llamarada Incendio de piscina	

Equipo	Evento Asociado	Fotografía
Tanque diario Ful Oil	Chorro de fuego Incendio de piscina Llamarada	
TEA	Explosión Blowout Escape de gas	
Carrotanque	Explosión Derrame Chorro de fuego Incendio de piscina	

Fuente: Propia, 2020

Elementos expuestos




A partir de las visitas realizadas en campo, se identificaron los elementos vulnerables en las áreas de influencia de los proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos, los cuales pueden ser afectados por la ocurrencia de un incidente o accidente derivados de las actividades realizadas. Allí se consideraron como elementos expuestos los asentamientos nucleado, asentamientos dispersos, viviendas, cuerpos de agua loticos y lenticos (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, entre otros.

A continuación, se pueden observar los elementos expuestos identificados en las diferentes regiones del país (Llanos orientales, valle inferior del Magdalena y Valle medio del Magdalena).

- Llanos Orientales

Tabla 9. Elementos expuestos de los Llanos Orientales

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Cultivos	Los principales cultivos identificados son arroz, palma africana, maíz, café y yuca	
Ganadería	Se evidencia en la región actividades pecuarias, que involucran la cría, levante y ceba de forma extensiva	
Puestos de salud	Se encuentran puestos de salud, en donde se presta el servicio de atención médica de primer nivel a la población	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Centro educativos	En la zona se encuentran instituciones educativas con nivel de jardín, básica primaria o secundaria, en la fotografía se evidencia un centro educativo de El Algarrobo	
Viviendas	Hay viviendas cercanas a las plataformas de exploración o explotación de hidrocarburos, en la fotografía se puede observar una casa cercana al pozo de Bastidas	
Asentamiento disperso	Conjunto de viviendas distribuidas en un área como lo es una vereda	
Sistema vial	Vías de acceso a las plataformas de exploración o explotación de hidrocarburos, en la fotografía se observa la vía hacia la vereda El Algarrobo	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Centros deportivos	Lugares de encuentro para el aprendizaje, practica y competición de deportes, en la imagen se evidencia la cancha de la vereda Mata Negra	
Asentamientos nucleados	Se evidenciaron asentamientos humanos nucleados, lo que hace referencia a un área con viviendas aglomeradas	
Captación de agua subterránea	En esta región la población el abastecimiento de agua se realiza mediante la perforación de pozos profundos con bomba o pozos sin bomba.	
Cuerpos de agua loticos	En esta región se encuentran cuerpos de agua loticos como el Rio Cravo Sur, el caño Surimena, el caño Guarimena (fotografía), el caño Maremare, entre otros.	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Cuerpos de agua lenticos natural	En la zona se evidencio la presencia de esteros (fotografía), bajos inundables y lagunas.	
Cuerpos de agua lenticos artificial	Se identificaron jagüeyes (cuerpos de agua artificiales) en las visitas a campo	
Fauna	Se evidenciaron animales como: pato sabanero, corocora, gallinazo, urraca, tortola, gonzalitos, gallito de agua, mirla blanca, murciélagos, venados, oso palmero, aullador rojo, chigüire, fara, chucha, mico maicero, ranas terrestres de caños, babilla, lobo, mato, rana platanera, anaconda, iguana.	

Fuente: Propia, 2020

- Valle Inferior del Magdalena

Tabla 10. Elementos expuestos del Valle Inferior del Magdalena

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Vivienda	Se evidenciaron viviendas cercanas a las plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos, la fotografía corresponde a una vivienda de la vereda Pasacorriendo	
Centros educativos	Instituciones educativas, de nivel de jardín, básica primaria o secundaria, en la fotografía se evidencia la escuela del asentamiento Santa Inés	
Cultivos	Se evidenciaron cultivos de maíz, yuca, patilla, críticos y frutales. En la fotografía se muestra un cultivo alternativo de maíz y yuca	
Ganadería	En la región se identificó que el sector pecuario es una de las principales actividades económicas, con la cría de ganado bovino y doble propósito	



Elemento expuesto	Características	Fotografía
Puestos de salud	Se evidenciaron puestos de salud en algunos asentamientos nucleados, en la fotografía se puede observar el puesto de salud de San José del Purgatorio	
Producción porcícola	En las visitas a campo a esta región se identificó la crianza de cerdos para la venta de carne	
Cuerpos de agua lenticos naturales	Se evidenciaron cuerpos de agua lenticos como ciénagas, lagos y lagunas. En la fotografía se puede observar la Ciénaga de Pijiño, Magdalena	
Cuerpos de agua lenticos artificiales	Se identificaron cuerpos de agua artificiales como jagüeyes, utilizados para el abastecimiento de agua doméstico (incluido el consumo) y pecuario	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Captación de agua superficial	Las personas de la región realizan la captación de agua superficial, para uso doméstico, pecuario, porcícola y agrícola. En la imagen se observa la captación de la población de San Antonio del Río al río Magdalena	
Cuerpos de agua loticos	En la zona hay la presencia de cuerpos loticos como el río Magdalena, río Ariguani, caño Caimancito, la quebrada Chimicuica (fotografía), entre otros.	
Captación de agua subterránea	Se identificaron puntos de captación de agua subterránea por parte de la población, en la fotografía se identifica dicha actividad en la vereda Belén	
Subestación eléctrica	En la zona de estudio se evidencio una subestación eléctrica, la cual suministra energía a las comunidades aledañas, la subestación de la fotografía está ubicada en el caserío Santa Inés	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Estanques de peces	Una de las actividades de la región es la crianza de peces, allí se identificaron varios estanques con este fin.	
Centros religiosos	Se evidenciaron centros religiosos católicos, cristianos, evangélicos, entre otros. La fotografía hace referencia a la iglesia católica de Canoas.	
Centros deportivos	Puntos de encuentro para el aprendizaje, práctica y competencia de deportes. En la fotografía se evidencia la cancha del caserío del Juncal.	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Acueductos	<p>Se identificaron sitios de tratamiento y/o distribución de agua potable o no potable de agua. Se evidencia el acueducto de Chibolo, Magdalena.</p>	
Sistema vial	<p>Las vías identificadas en esta región son principalmente vías sin pavimentar, las cuales comunican a los municipios y/o veredas. En la imagen se evidencia la vía de comunicación de la vereda La Imagen con el proyecto Ruta de Sol sector 2.</p>	
Plantaciones forestales	<p>Plantaciones como el eucalipto fueron evidenciados en la visita a campo.</p>	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Parques recreativos	Se identificaron parques recreativos en los municipios, veredas y asentamientos nucleados de la región.	
Industria Minera	En esta región del país una de las actividades económicas identificadas fue la industria Minera. La fotografía corresponde a un centro de acopio de material para construcción en el municipio de Plato, Magdalena.	
Asentamientos nucleados	En las visitas a campo se evidenciaron aglomeraciones de viviendas y personas.	
Transporte fluvial	Transporte por cuerpos de agua como el río Magdalena y Ciénagas.	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Fauna	<p>Se identificaron los siguientes animales: ranita misera o rana de árbol amarillo, ranas silbadoras, sapo granuloso, ranas platanera, serpientes lagartos, babillas, tortuga morrocoy, tortuga de río, carranchina, garcita rayada, garza real, la chavarria, loros, guacamayas, búhos, corocora, mono colorado, ardilla, armadillo, mapache, liebre, zorro perro, murciélago, entre otros.</p>	
Asentamientos dispersos	Viviendas distribuidas en un área determinada	

Fuente: Propia, 2020

- Valle Medio del Magdalena

Tabla 11. Elementos expuestos del Valle Medio del Magdalena

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Asentamiento nucleado	En las visitas a campo se evidenciaron aglomeraciones de viviendas y personas.	
Cultivos	Los principales cultivos identificados son arroz, palma de aceite, maíz, plátano, café, frijol, pastos de corte, cítricos, aguacate, frutales y yuca	
Ganadería	En la región se identificó la crianza de ganado bovino y doble propósito	
Vivienda	Se evidenciaron viviendas cercanas a las plataformas de exploración y explotación de hidrocarburos, la fotografía corresponde a una vivienda de la vereda Monserrate, Cesar	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Acueducto	Se identificaron sitios de tratamiento y/o distribución de agua potable o no potable de agua. Se evidencia el acueducto de Puerto Carreño, Cesar	
Sistema vial	Las vías identificadas en esta región son principalmente vías sin pavimentar, las cuales comunican a los municipios y/o veredas. En la imagen se evidencia la vía de comunicación a la vereda La Ye.	
Captación de agua subterránea	Se identificaron puntos de captación de agua subterránea por parte de la población, en la fotografía se identifica dicha actividad en la vereda El Taladro.	
Estanques de peces	Una de las actividades de la región es la crianza de peces, allí se identificaron varios estanques con este fin (fotografía perteneciente de la vereda Los Tendidos).	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Cuerpos de agua lóticos	En la zona hay la presencia de cuerpos lóticos como el río San Alberto (fotografías), río Lebrija, caño Ropero, caño Aguas Blancas, Río Cáchira, Caño Villa, entre otros.	
Cuerpos de agua lóticos naturales	En la zona hay la presencia de cuerpos lóticos como el río San Alberto (fotografías), río Lebrija, caño Ropero, caño Aguas Blancas, Río Cáchira, Caño Villa, entre otros.	
Cuerpos de agua lóticos artificiales	Se identificaron cuerpos de agua artificiales como jagüeyes, utilizados para el abastecimiento de agua doméstico (incluido el consumo) y pecuario	
Centro educativos	Instituciones educativas, de nivel de jardín, básica primaria o secundaria, en la fotografía se evidencia la escuela de la vereda Punta Piedra.	

Elemento expuesto	Características	Fotografía
Centros deportivos	<p>Puntos de encuentro para el aprendizaje, practica y competencia de deportes.</p> <p>En la fotografía se evidencia la cancha del caserío Puerto Carreño.</p>	
Centros religiosos	<p>Se evidenciaron centros religiosos católicos, cristianos, evangélicos, entro otros. La fotografía hace referencia a la iglesia católica de San Rafael.</p>	
Fauna	<p>Se evidencio lo siguiente:</p> <p>rana de ojos rojos, salamandra, rana platanera, rana venenosa de rayas amarillas, rana cornuda, tortuga de río, caimán aguja, lagartos, serpientes, cocodrilos, tortuga morrocoy, garza colorada, chicagüire, mono maicero, mono aullador, ardilla de cola roja, zarigüeya, mapache cangrejero, lobito de río, zorro cangrejero, puma concolor, entre otros.</p>	

Fuente: Propia, 2020

Con base en los resultados de las visitas de campo, se proponer la siguiente clasificación de los elementos vulnerables (Ver Tabla 12.).

Tabla 12. Clasificación de elementos expuestos

Clasificación	Elementos expuestos	Riesgo
Elementos sociales	asentamientos dispersos, asentamientos nucleados, centros religiosos, centros deportivos, centros educativos, parques recreativos, centros de salud.	Riesgo social
Elementos ambientales	Cuerpos de agua loticos, cuerpos de agua lenticos naturales y artificiales, fauna, nacederos y/o manantiales, pozos de agua subterránea, cobertura de tierra	Riesgo ambiental
Elementos socioeconómicos	Cultivos, ganadería, industrias, estanques de peces (piscicultura), plantaciones forestales, producción de porcinos, avícola, producción equina, bufalinos, caprinos, mular, asnal, ovino, pollos de engorde, aves de postura, aves traspatio y bufalinos	Riesgo socioeconómico
Elementos Individuales	Viviendas	Riesgo individual

Fuente: Propia, 2020

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.

Tabla 13. Índice de importancias para los elementos expuestos identificados

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
	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
	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

Para llevar a cabo el análisis de riesgo se implementaron redes bayesianas, teniendo en cuenta las causas de falla de los principales equipos y sus efectos asociados, estas fueron tomadas de algunos casos de estudio del libro “Oil and Gas Processing Equipment” (Unnikrishnan, 2020). Es claro que para la implementación de las redes bayesiana se debe contar

con un registro histórico de eventos o accidentes ocurridos en la compañía, como también las características de los equipos y recomendaciones de uso, mantenimiento y fabricación de los mismos.

A continuación, se pueden evidenciar las redes bayesianas de 7 equipos principales en el sector de hidrocarburos, como se mencionó anteriormente dichas redes tienen consigo la probabilidad de casos de estudios específicos.

- Bomba centrífuga

En la Tabla 14 se pueden observar las causas de falla de una bomba centrífuga en el sector de hidrocarburos.

Tabla 14. Causas de falla de una bomba centrífuga

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FallaSelloMecánico	Falla sello mecánico	Si
			No
1.1	BombaFunciónSeco	Bomba función en seco	Si
			No
1.2	VibraciónExcesiva	Vibración en exceso	Si
			No
1.3	ComponentesTuberi	Componentes en la tubería de Martilleo	Si
			No
1.4	ParticulasLiquidoSel	Partículas del líquido sellado	Si
			No
1.5	ErrorInstalación	Error en la instalación	Si
			No
1.6	SelloIncorrecto	Sello incorrecto	Si
			No
2	FallaCarcasa	Falla de la carcasa	Si
			No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
2.1	MetalurguaIncorrecta	Metalurgia incorrecta	Si
			No
2.2	CambioFluidoProceso	Cambio del fluido dentro del proceso	Si
			No
2.3	DefectosFundición	Defectos de fundición	Si
			No
2.4	CavitaciónExcesiva	Cavitación en exceso	Si
			No
3	FalloSucciónYDesc	Falla de succión y de descarga	Si
			No
3.1	JuntaCorrecta	Junta correcta	Si
			No
3.2	InstalaciónIncorrecta	Instalación incorrecta	Si
			No

Fuente: Propia, 2020

Por otro lado, se registran los efectos asociados a dichas causas de falla de una bomba centrífuga (Tabla 15)

Tabla 15. Efectos de falla de una bomba centrífuga

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	PérdidaContenciónB	Pérdida de contención de la bomba centrífuga	Si
			No
2	PérdidaContención	Pérdida de contención	Grande
			Pequeño
3	Detección	Detección	No pérdida de contención
			GrandeDetecciónSi
			GrandeDetecciónNo
			PequeñoDetecciónSi
			PequeñoDetecciónNo
			NoPérdidaContención1

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
4	Acción	Acción	GrandeDetecciónSiAcciónSi GrandeDetecciónSiAcciónNo GrandeDetecciónNoAcciónNo PequeñoDetecciónSiAcciónSi PequeñoDetecciónSiAcciónNo PequeñoDetecciónNoAcciónNo NoPerdidaContención2
5	Ignición	Ignición	Seguro1 LDetSiAcciNoIgniciónSi LDetSiAcciNoIgniciónNo LDetNoAcciNoIgniciónSi LDetNoAcciNoIgniciónNo Seguro2 PDetSiAcciNoIgniciónSi PDetSiAcciNoIgniciónNo PDetNoAccNoIgniciónSi PDetNoAcciNoIgniciónNo NoPerdidaContención3
6	EfectosFinales	Efectos finales (consecuencias)	IncendioPiscina EscapeGas ChorroFuego Llamarada

Fuente: Propia, 2020

Finalmente se puede observar la red bayesiana incorporando las causas y efectos de la falla de una bomba centrífuga, en donde la consecuencia con más probabilidad es el escape de gas.

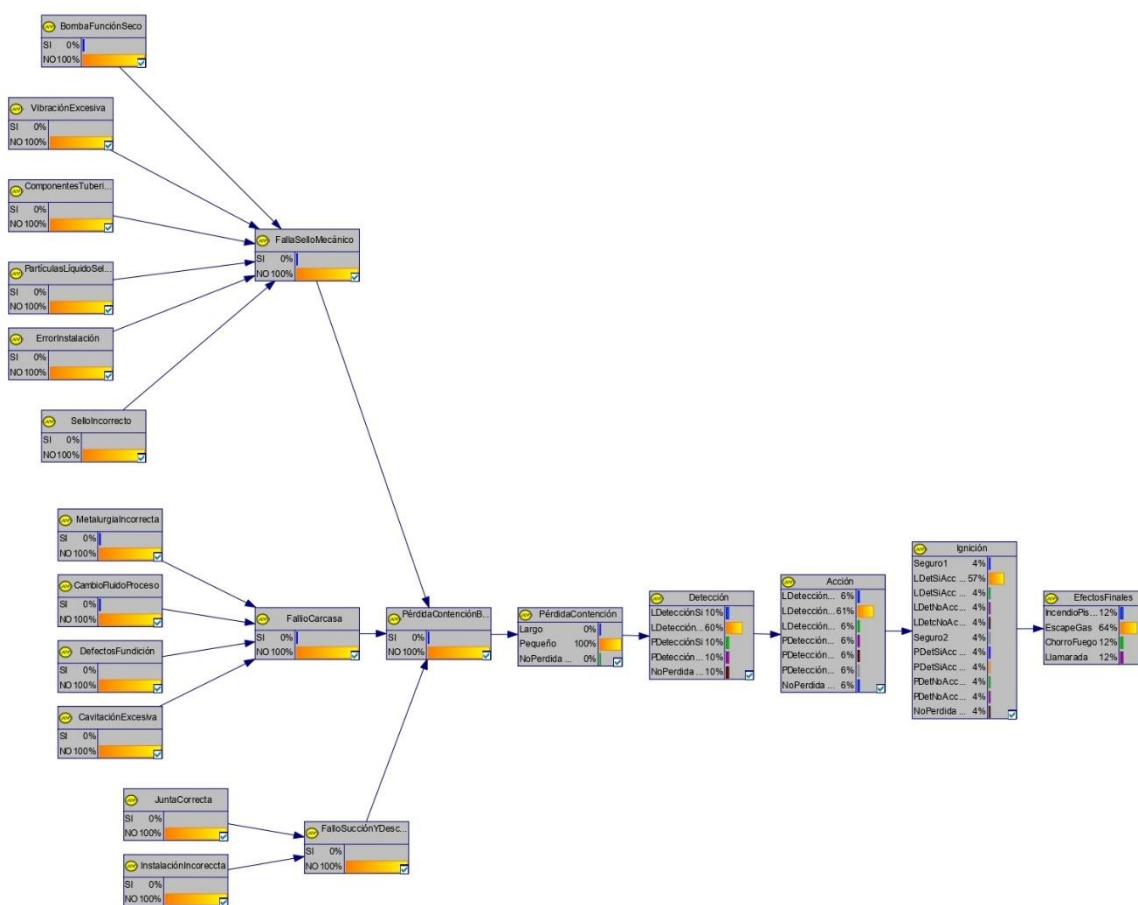


Figura 8. Red bayesiana de análisis de riesgo para una bomba centrífuga

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

- Carrotanque

En la Tabla 16 se evidencian las causas de falla de un carrotanque

Tabla 16. Causas de falla en un carrotanque

Nº	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	ErrorHumano	Error humano	Si
			No
1.1	AltaVelocidad	Alta velocidad	Si
			No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1.2	EntrenamientoNoAd	Entrenamiento no adecuado	Si No
1.3	ManualNoRevisado	Manual no revisado	Si No
1.4	RevisiónPre-operaci	Revisión pre-operacional	Si No
1.5	CansancioFatifa	Cansancio o fatiga	Si No
1.6	SobreLlenado	Sobrellenado	Si No
1.7	EnfermedadRepentina	Enfermedad repentina	Si No
1.8	IncapacidadFisica	Incapacidad física	Si No
1.9	Distracción	Distracción	Si No
1.10	AlcoholDrogas	Alcohol o drogas	Si No
2	FallaEquipo	Falla equipo	Si No
2.1	EquipoInadecuado	Equipo inadecuado	Si No
2.2	VálvulaConGoteo	Válvula con goteo	Si No
2.3	AccesorioDañado	Accesorios dañados	Si No
2.4	FallaFrenos	Falla de frenos	Si No
2.5	FallaDirección	Falla de dirección	Si No
2.6	FallaVenteos	Falla de venteos	Si No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
2.7	FallaRuedas	Falla de ruedas	Si
			No
2.8	FallaDeCorrosión	Falla de corrosión	Si
			No
2.9	FallaSoldadura	Falla de soldadura	Si
			No
3	FallaProcedimientos	Falla de procedimientos	Si
			No
3.1	ErrorSelecciónRuta	Error en la selección de la ruta	Si
			No
3.2	ErrorMantenimiento	Error en el mantenimiento	Si
			No
3.3	FallaRevisiónPre-op	Falla en la revisión pre-operacional	Si
			No
3.4	FallaProcesoLlenado	Falla en el proceso de llenado	Si
			No
3.5	FallaProcesoCargue	Falla en el proceso de cargue	Si
			No
4	RiesgosNatech	Riesgos natech	Si
			No
4.1	Tormentas	Tormentas	Si
			No
4.2	Inundaciones	Inundaciones	Si
			No
4.3	Incendios	Incendios	Si
			No
4.4	Terremotos	Terremotos	Si
			No
4.5	Otros	Otros	Si
			No

Fuente: Propia, 2020

Los efectos de las causas de la falla de un carrotanque se pueden observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Efectos de falla en un carrotanque

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

Fuente: Propia, 2020

En cuanto a la red bayesiana, en la Figura 9 se puede observar que la consecuencia más probable es un derrame.

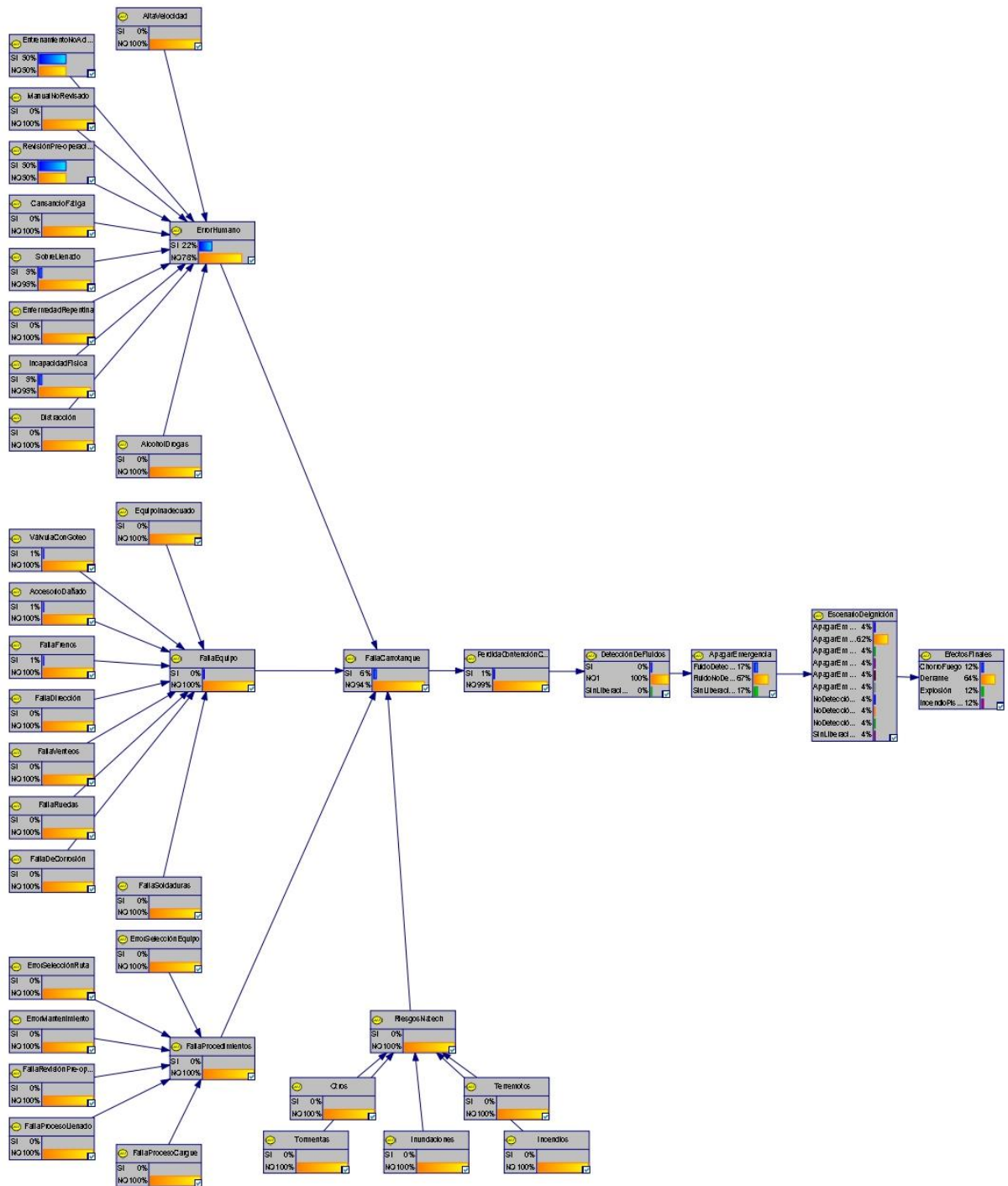


Figura 9. Red bayesiana de análisis de riesgo para un carro tanque

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

- Compresor Centrifugo

En la Tabla 18, se listan las causas de falla de un compresor centrifugo

Tabla 18. Causas de falla de un compresor centrifugo

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	SobrepresiónEnCo	Sobrepresión en el compresor	Si No
1.1	FallaVálvulaAFla	Falla de la válvula al flamear	Si No
1.2	BloqueoCorrienteAb	Bloque corriente abajo	Si No
1.3	FallaVálvulaDeSegu	Falla de la válvula de seguridad	Si No
1.4	VálvulaDeSegurida	Válvula de seguridad de presión de tamaño insuficiente	Si No
1.5	FalloDeAltaPresiónE	Falla de alta presión en la válvula de cierre	Si No
2	FalloDeVálvulas	Fallo de la válvula anti-sobretensión	Si No
3	MarcaciónDeLiquido	Marcación de líquido de arrastre	Si No
3.1	ArrastreDeLiquido	Arrastre del liquido	Si No
3.1.1	DiseñoAntivahoDeS	Diseño antivaho de succión inadecuado	Si No
3.1.2	LiquidoEnLaEntrada	Liquido en la entrada del gas	Si No
3.1.3	FallaDelSistemaCont	Falla del sistema de control	Si No
3.1.4	FallaDeLiquidoAlto	Falla del líquido alto	Si No

3.1.5	FallaDeAcciónDelO	Falla de acción del operador	Si No
4	MarcaciónFalloDeIS	Marcación fallo del sello de gas	Si No
4.1	FalloDelSelloGas	Fallo del sello de gas	Si No
4.1.1	VibraciónExcesiva	Vibración en exceso	Si No
5	FracasoDelSistema	Fracaso del sistema de aceite y/o lubricante	Si No
5.1	FallaDelAceiteLubri	Falla del aceite lubricante del sistema	Si No
5.2	FallaDeAcciónDelO	Falla de acción del operador	Si No
6	EntradaDeObjetosE	Entrada de objetos extraños	Si No
6.1	ColadoresTemporales	Coladores temporales	Si No
6.2	FallaDeProcedimient	Falla de procedimientos para la eliminación	Si No
7	CambioDeLasCondi	Cambio de las condiciones de funcionamiento	Si No
8	FalloCojineteDeEmp	Fallo cojinete de empuje	Si No
9	CoincidenteMecánic	Coincidente mecánico y frecuencias acústicas	Si No

Fuente: Propia, 2020

Los efectos que se desencadenan de la falla de un compresor centrífugo se pueden observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Efectos de falla de un compresor centrifugo

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FallaDelCompresor	Falla del compresor centrifugo	Si No
2	FugaCompresorDe	Fuga de compresor de gas	Si No
3	DetecciónGas	Detección de gas	SiDetección NoDetección SinFuga
4	InundaciónGasDeEx	Inundación de gas de extintor de incendios	Si No SinFuga1
5	Ignición	Ignición	SiIgniciónInmediata SiIgniciónRetrasada NoIgnición SinFuga2
6	EfectosFinales	Efectos finales (consecuencias)	Llamarada VCE NoFuego SinFuga

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 10, se evidencia la red bayesiana de análisis de riesgo para un compresor centrifugo, en donde la ocurrencia de una explosión tiene mayor probabilidad.

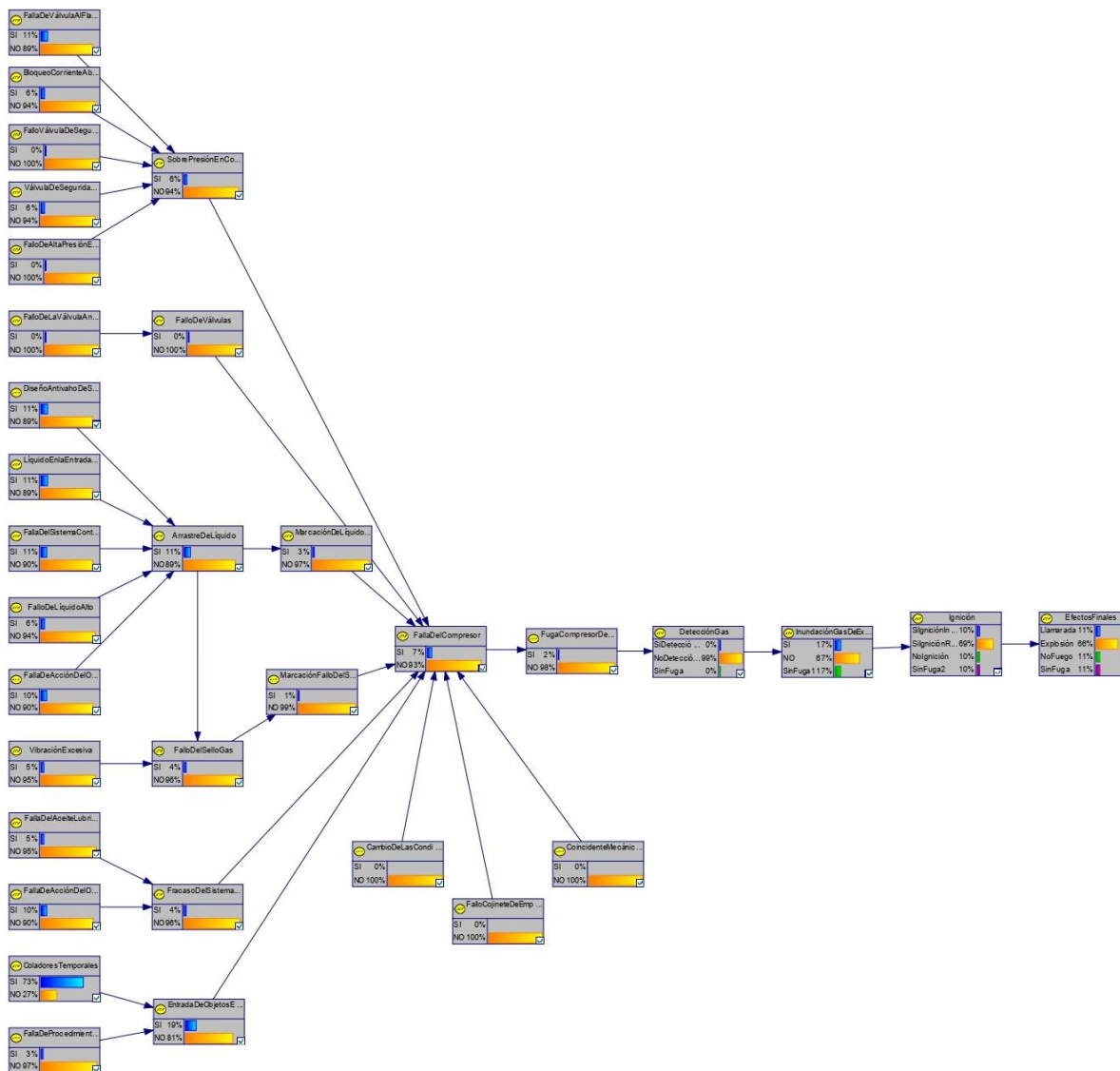


Figura 10. Red bayesiana de análisis de riesgo para un compresor centrífugo

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

- Línea de flujo

En la Tabla 20 se pueden observar las causas de falla de una línea de flujo

Tabla 20. Causas de falla de una línea de flujo

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	ConstrucciónDefect	Construcción defectuosa o materiales fallidos	Si No
1.1	FallaDeConstrucción	Falla de construcción	Si No
1.1.1	ProcedimientosElImpl	Procedimientos e implementación	Ninguna Promedio Bueno
1.1.2	Supervisión	Supervisión	Adecuado NoAdecuado
1.2	DiseñoDefectuosoO	Diseño defectuoso o falla de materiales	Si No
1.2.1	PiggingInteligenteNo	Pigging inteligente no disponible	Si No
1.2.2	FactorDeDiseñoNo	Factor de diseño no adecuado	Si No
1.2.3	ProcedimientosYRe	Procedimientos y revisión no adecuados	Si No
2	FallaOperación	Falla de operación	Si No
2.1	ErrorDelSistema	Error del sistema	Si No
2.1.1	ControlDeSupervisi	Control de supervisión y adquisición de datos no disponible	Si No
2.1.2	ProtecciónContraSo	Protección contra sobrepresión no disponible	Si No
2.1.3	SistemaDeSegurida	Sistema de seguridad no disponible	Si No
2.1.4	IdentificaciónDePeli	Identificación de peligros no realizada	Si No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
2.1.5	EvaluacionesDeRie	Evaluaciones de riesgo no realizadas	Si No
2.1.6	SeguimientoDeComp	Seguimiento de composición no realizado	Si No
2.1.7	ProcedimientoDeGe	Procedimiento de gestión de cambios no realizado	Si No
2.2	ErrorHumano	Error humano	Si No
2.2.1	EntrenamientoNoAd	Entrenamiento no adecuado	Si No
2.2.2	ManualNoRevisado	Manual no revisado o mantenimiento no disponible	Si No
2.2.3	DiseñosNoActualiza	Diseños no actualizados	Si No
2.2.4	CulturaDeSeguridad	Cultura de seguridad nula	Si No
3	FallaDeCorrosión	Falla de corrosión	Si No
3.1	CorrosiónInterna	Corrosión interna	Si No
3.1.1	RevestimientoInten	Revestimiento interno no disponible	Si No
3.1.2	InhibidorDeCorrosió	Inhibidor de corrosión no disponible	Si No
3.1.3	NoSeConsideraLaC	No se considera la corrosividad del fluido	Si No
3.2	CorrosiónExterna	Corrosión externa	Si No
3.2.1	RecubrimientoDeTu	Recubrimiento de tubería no disponible	Si No
3.2.2	ProtecciónCatódica	Protección catódica no disponible	Si No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
3.3	AgrietamientoPorTe	Agrietamiento por tensión de sulfuro	Si
			No
3.3.1	EncuentaDeinterval	Encuesta de intervalo cerrado no realizada	Si
			No
4	RiesgosNatech	Riesgos natech	Si
			No
4.1	Hundimiento	Hundimiento	Si
			No
4.2	Inundación	Inundación	Si
			No
4.3	Incendios	Incendios	Si
			No
4.4	Otros	Otros	Si
			No

Fuente: Propia, 2020

Los efectos asociados a las causas de falla de una línea de flujo se pueden observar en la Tabla 21.

Tabla 21. Efectos de falla de una línea de flujo

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FalloLineaDeFlujo	Fallo de la línea de flujo	Si
			No
2	LiberaciónDeFluidos	Liberación de fluidos	Si
			No
3	DetecciónDeFluidos	Detección de fluidos	Si
			No
4	ApagarEmergencia	Apagar emergencia en la línea de flujo	SinLiberación
			FlujoDetectado
			FlujoNoDetectado
			FlujoNoDetectado2
			SinLiberación2

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
5	EscenarioDelgnición	Escenario de ignición	ApagarEmergenciaInmediato ApagarEmergenciaRetrasado ApagarEmergenciaSinIgnición ApagarEmergenciaNoInmediatamente ApagarEmergenciaSinRetraso ApagarEmergenciaConIgnición NoDetecciónInmediato NoDetecciónRetrasado NoDetecciónSinIgnición SinLiberación3
6	EfectosFinales	Efectos finales (consecuencias)	ChorroFuego Derrame Explosión IncendioPiscina BlowOut

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 11 se evidencia que la consecuencia con mayor probabilidad de ocurrencia es el derrame de petróleo.

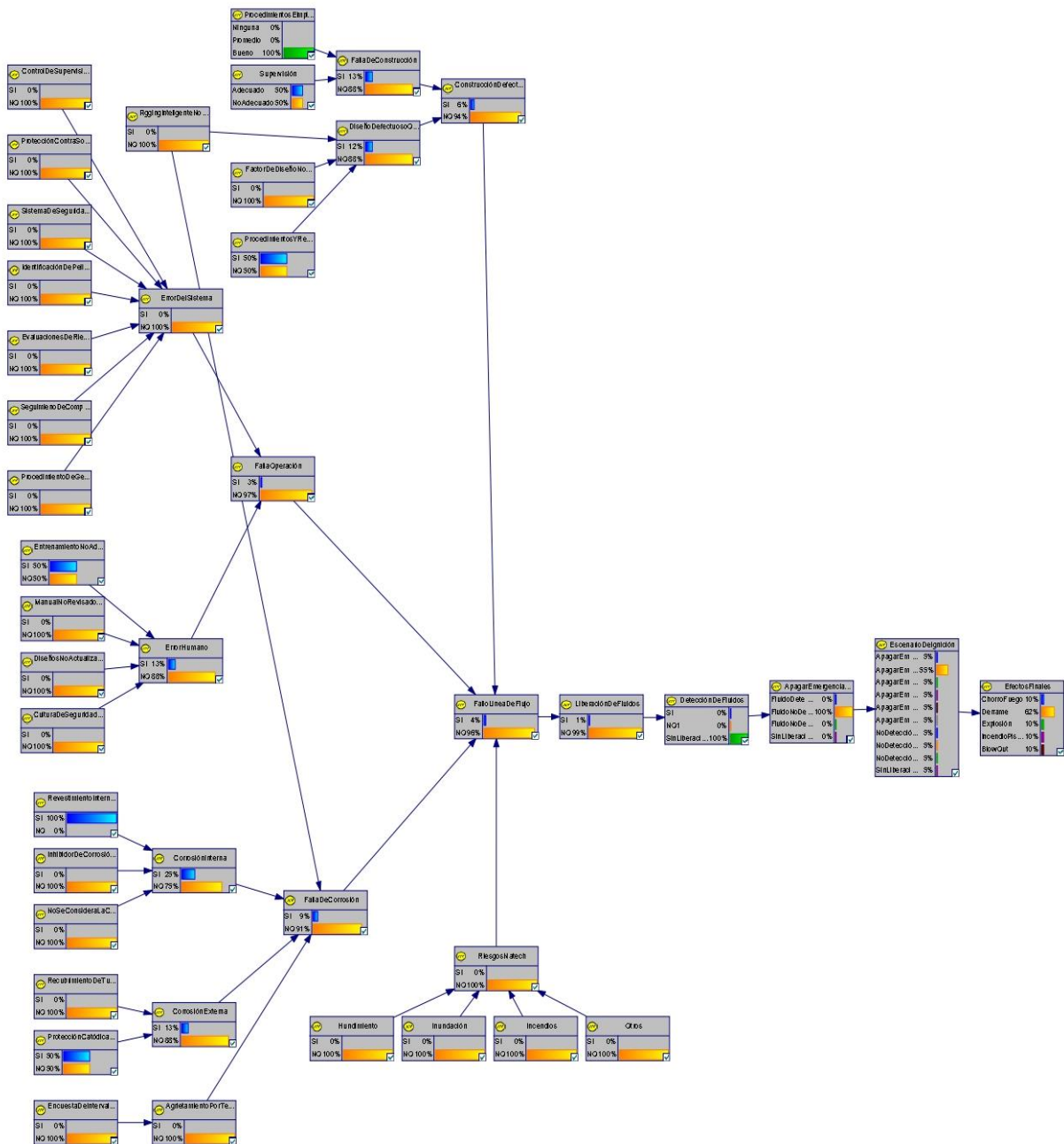


Figura 11. Red bayesiana de análisis de riesgo para una línea de flujo

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

- Separador

En la Tabla 22 se pueden evidenciar las causas de falla de un separador

Tabla 22. Causas de falla de un separador

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	Falla1Separador	Falla 1 del separador	Si No
1.1	AltaPresiónSeparador	Alta presión en el separador	Si No
1.1.1	AltaPresiónDesdeA	Alta presión desde arriba	Si No
1.1.2	FalloApagarLaVálv	Fallo de apagar la válvula de emergencia	Si No
1.2	SinAlivioDePresión	Sin alivio de presión	Si No
1.2.1	LaVálvulaDeSeguri	La válvula de seguridad de presión fallo	Si No
1.2.2	TamañoReducidoDe	Tamaño reducido de válvula de presión	Si No
2	Falla2Separador	Falla 2 del separador	Si No
2.1	SinAlivioDePresión	Sin alivio de presión	Si No
2.1.1	LaVálvulaDeSeguri	La válvula de seguridad de presión fallo	Si No
2.1.2	TamañoReducidoDe	Tamaño reducido de válvula de presión	Si No
2.2	BloqueAguaAbajo	Bloques aguas abajo	Si No
2.2.1	BloqueAguaAbajoL	Bloque aguas abajo del lado del gas	Si No
2.2.2	NoDetecciónONingu	No detección o ninguna acción del operador	Si No
3	InicioPérdidaConten	Inicio de pérdida de contención	Si No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
3.1	TiempoFugaDelSep	Tiempo de fuga del separador	Si No
3.1.1	FallaBoquillaLadoGa	Falla de la boquilla de lado del gas por soldadura	Si No
3.1.2	FalloaBoquillaLadoLiq	Falla de la boquilla de lado del líquido por soldadura	Si No
3.2	SinDetecciónFugas	Sin detección de fugas	Si No
3.2.1	FallaDeFuegoYDete	Fallo de fuego y detección de gas en el sistema	Si No
3.2.2	NoDetecciónOFalla	No detección o falla de acción	Si No
4	PerdidaIntegridadDe	Pérdida de la integridad del separador	Si No
4.1	FuegoCercaAlSepa	Fuego cerca al separador	Si No
4.2	NoDetecciónDeFuego	No detección de fuego	Si No
4.2.1	FallaEnDetecciónFu	Falla en la detección de fuego	Si No
4.2.1	NoDetecciónOperad	No detección del operador o falla de acciones	Si No
5	FallaCatastrofica	Falla catastrófica	Si No
5.1	MecanismosPotenci	Mecanismos potenciales de daño metálico	Si No
5.2	NoDetecciónDePrec	No detección de precursores fatales	Si No

Fuente: Propia, 2020

Los efectos desencadenados de las causas de falla de un separador se pueden observar en la Tabla 23.

Tabla 23. Efectos de falla de un separador

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FallaSeparador	Falla del separador	Si No
2	PerdidaDeContenció	Perdida de contención	Gas DosFases SinLanzamiento
3	Ignición	Ignición	SiGasFs NoGasFs SiDosFs NoDosFs SinLiberación1
4	TiempoDelgnición	Tiempo de ignición	SiGasFsTemprano SiGasFsTarde NoGasFs1 SiDosFsTemprano SiDosFsTarde NoDosFs1 SinLiberación2
5	EfectosFinales	Efectos finales (consecuencias)	ChorroFuego Explosión EscapeGas IncendioPiscina BolaFuego ContaminaciónTierra SinLiberación3

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 12 se puede observar la red bayesiana del análisis de riesgo de un separador, en donde como consecuencia más probable se obtiene que no hay liberación de fluidos y/o eventos amenazantes.

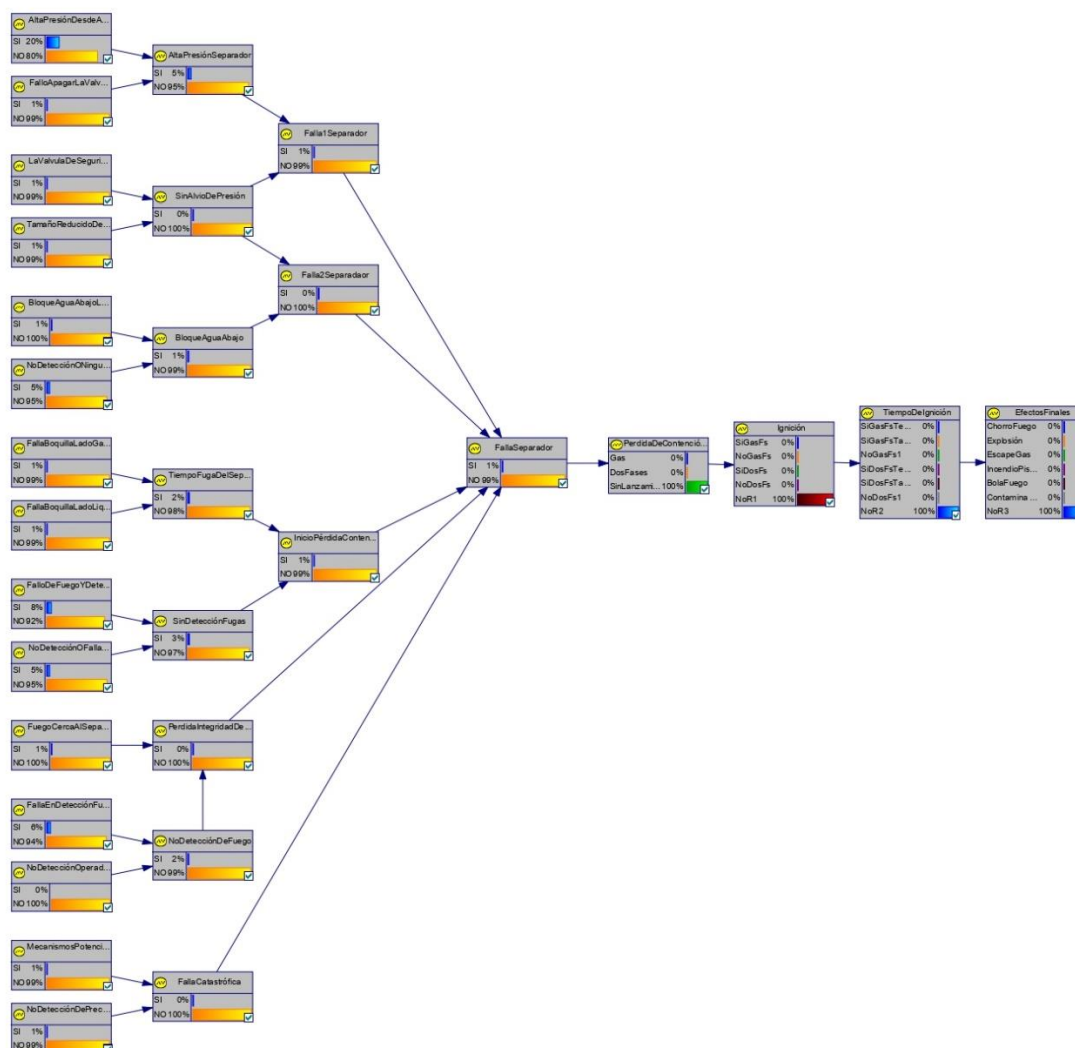


Figura 12. Red bayesiana de análisis de riesgo para un separador

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

- Tanque Almacenamiento

En la Tabla 24 se pueden observar las causas de falla de un tanque de almacenamiento

Tabla 24. Causas de falla de un tanque de almacenamiento

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FallaMantenimiento	Falla de mantenimiento o inspección	Si
			No
1.1	ProtectorEquipo	Protector del equipo	Si
			No
1.2	MantenimientoPreve	Mantenimiento preventivo	Si
			No
1.3	RutinaInspección	Rutina de la inspección	Si
			No
1.4	PruebaRegulación	Prueba de regulación	Si
			No
1.5	PruebaExplosión	Prueba de explosión	Si
			No
2	CalidadDiseño	Calidad del diseño	Ninguna
			Promedio
2.1	ProtecciónContraDe	Protección contra desbordamiento	Bueno
			Si
2.2	SelecciónTipoTanqu	Selección del tipo de tanque de almacenamiento	No
			Si
2.3	InspecciónYEstudio	Inspección y estudio del sitio	No
			Si
2.4	DistanciasSeguras	Distancias seguras	No
			Si
2.5	CapacidadDiques	Capacidad de los diques	No
			Si
2.6	BundResistenciaFu	Resistencia al fuego	No
			Si
2.7	VálvulasPruebaFuego	Válvulas a prueba de fuego	No
			Si
2.8	ClaraCapacidadTan	Clara capacidad del tanque de almacenamiento	No
			Si

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
2.9	DiseñoProtecciónCo	Diseño de protección contra incendios	Si No
2.10	TuberiaAPruebaFue	Tubería a prueba de fuego	Si No
2.11	SistemaDetecciónF	Sistema de detección de fuego	Si No
2.12	CorrectaSelecciónM	Correcta selección del material	Si No
2.13	ApropiadoMonitoreo	Apropiado monitoreo de temperatura	Si No
2.14	ConsideraciónConte	Consideración de la contención terciaria	Si No
3	RiesgosNatech	Riesgos natech	Si No
3.1	Hundimiento	Hundimiento	Si No
3.2	Inundación	Inundación	Si No
3.3	Incendios	Incendios	Si No
3.4	Otros	Otros	Si No
4	ErrorHumano	Error humano	Si No
4.1	ManualNoRevisado	Manual no revisado	Si No
4.2	EntrenamientoNoAd	Entrenamiento no adecuado	Si No
5	FallaDeConstrucción	Falla de construcción	Si No

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
5.1	ProcedimientosElImpl	Procedimientos e implementación	Ninguna Promedio Bueno
5.2	Supervisión	Supervisión	Adecuado NoAdecuado

Fuente: Propia, 2020

En la Tabla 25 se evidencian los efectos de falla de un tanque de almacenamiento.

Tabla 25. Efectos de falla de un tanque de almacenamiento

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FallaTanqueAlmace	Falla en el tanque de almacenamiento	Si No
2	PerdidaContención	Pérdida de contención	Si No
3	DetecciónDeFluidos	Detección de fluidos	SI No1 SinLiberación
4	ApagarEmergencia	Apagar emergencia en la línea de flujo	FluidoDetectado FluidoNoDetectado FluidoNoDetectado2 SinLiberación2
5	EscenarioDelgnición	Escenario de ignición	ApagarEmergenciaInmediato ApagarEmergenciaRetrasado ApagarEmergenciaSinIgnición ApagarEmergenciaNoInmediatamente ApagarEmergenciaSinRetraso ApagarEmergenciaConIgnición NoDetecciónInmediato NoDetecciónRetrasado NoDetecciónSinIgnición SinLiberación3

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
6	EfectosFinales	Efectos finales (consecuencias)	ChorroFuego Derrame Explosión IncendioPiscina BlowOut

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 13 se puede evidenciar la red bayesiana para el tanque de almacenamiento, en donde la consecuencia con mayor probabilidad es un derrame.

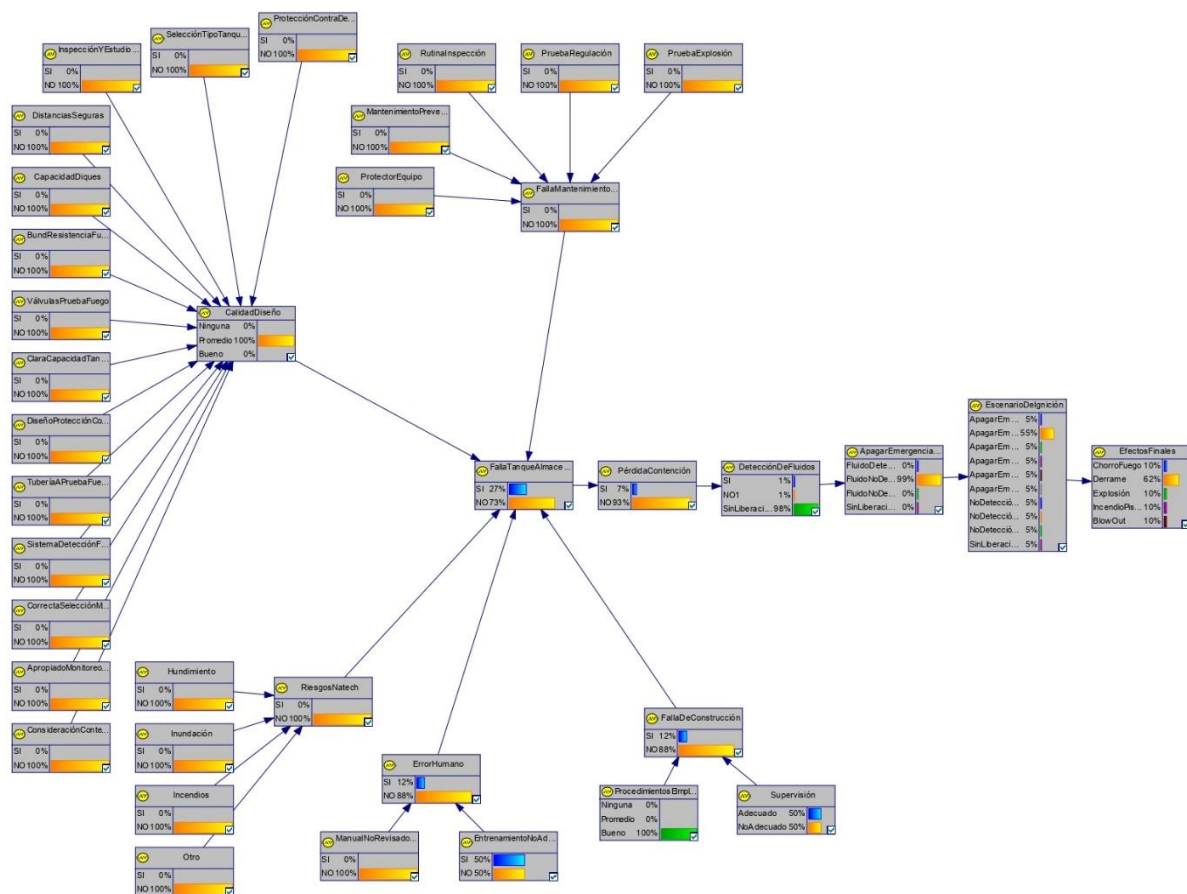


Figura 13. Red bayesiana de análisis de riesgo para un tanque de almacenamiento

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

- Tea

En la Tabla 26 se pueden evidenciar las causas de falla de una tea

Tabla 26. Causas de falla de un Tea

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	ConstrucciónDefec	Construcción defectuosa o materiales fallidos	Si
			No
1.1	FallaDeConstrucción	Falla de la construcción	Si
			No
1.1.1	ProcedimientosEImpl	Procedimientos e implementación	Ninguna
			Promedio
1.1.2	Supervisión	Supervisión	Bueno
			Adecuado
1.2	DiseñoDefectuosoO	Diseño defectuoso o falla de materiales	NoAdecuado
			Si
1.2.1	FactorDeDiseñoNoD	Factor de diseño no disponible	No
			Si
1.2.2	ProcedimientosYRe	Procedimientos y revisión no adecuados	No
			Si
2	ErrorSistema	Error del sistema	No
			Si
2.1	EquipoDesgastado	Equipo desgastado	No
			Si
2.2	FaltaMantenimiento	Falta de mantenimiento	No
			Si
2.2.1	EstructuraMuyA	Estructura muy alta	No
			Si
2.3	ProcedimientosInad	Procedimientos inadecuados	No
			Si
2.4	AltaPresión	Alta presión	No
			Si

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
2.5	BajaPresión	Baja presión	Si
			No
3	ErrorHumano	Error humano	Si
			No
3.1	EntrenamientoNoAd	Entrenamiento no adecuado	Si
			No
3.2	ManualNoRevisado	Manual no revisado	Si
			No
4	RiesgosNatech	Riesgos natech	Si
			No
4.1	Incendios	Incendios	Si
			No
4.2	Tormentas	Tormentas	Si
			No
4.3	Vendavales	Vendavales	Si
			No
4.4	Otros	Otros	Si
			No

Fuente: Propia, 2020

En la Tabla 27 se pueden observar los efectos de falla de una tea

Tabla 27. Efectos de falla de una Tea

N°	Nombre Nodo	Descripción del Nodo	Estados
1	FallaTea	Falla de la tea	Si
			No
2	PérdidaDeContención	Pérdida de contención	Si
			No
3	DetecciónDeFluidos	Detección de fluidos	Si
			No1 SinLiberación

4	ApagarEmergencia	Apagar emergencia	FluidoDetectado FluidoNoDetectado SinLiberación2
5	EscenarioDelgnición	Escenario de ignición	ApagarEmergenciaInmediato ApagarEmergenciaRetrasado ApagarEmergenciaSinIgnición ApagarEmergenciaNoInmediatamente ApagarEmergenciaSinRetraso ApagarEmergenciaConIgnición NoDetecciónInmediato NoDetecciónRetrasado NoDetecciónSinIgnición SinLiberación3
6	EventosFinales	Eventos finales (consecuencias)	Explosión EscapeDeGas BlowOut

Fuente: Propia, 2020

Al implementar la red bayesiana teniendo en cuenta las causas y efectos de falla de una tea, se obtuvo que la consecuencia con mayor probabilidad de ocurrencia es el escape de gas (Figura 14).

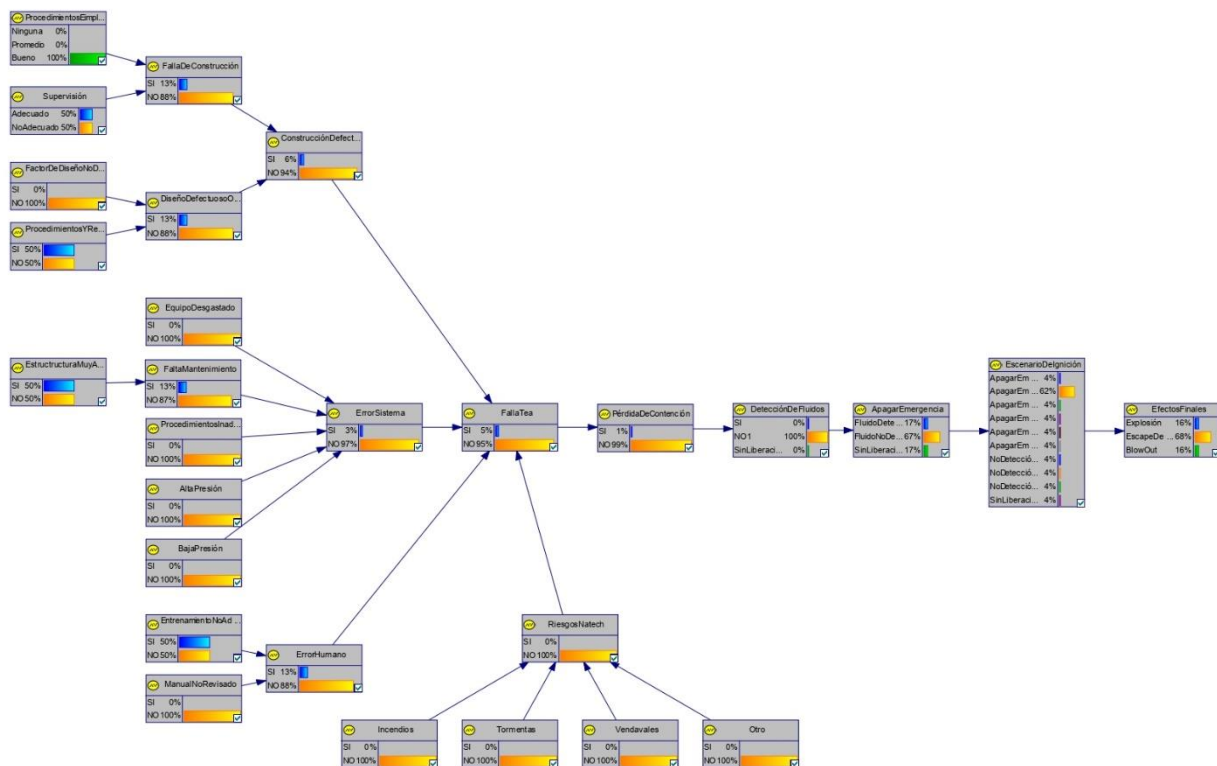


Figura 14. Red bayesiana de análisis de riesgo para una tea

Fuente: Modificado de (Unnikrishnan, 2020)

Riesgo individual

Para la elaboración y análisis del riesgo individual se tuvo 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 las redes bayesianas para cada uno de los equipos, en donde se evidencia la probabilidad de que una persona muera a causa de un evento amenazante.

- Bomba Centrífuga

En la Figura 15, se puede observar la probabilidad de riesgo individual, en donde se simula la presencia de viviendas dentro del área de influencia del proyecto petrolero. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 32% de que una persona muera.

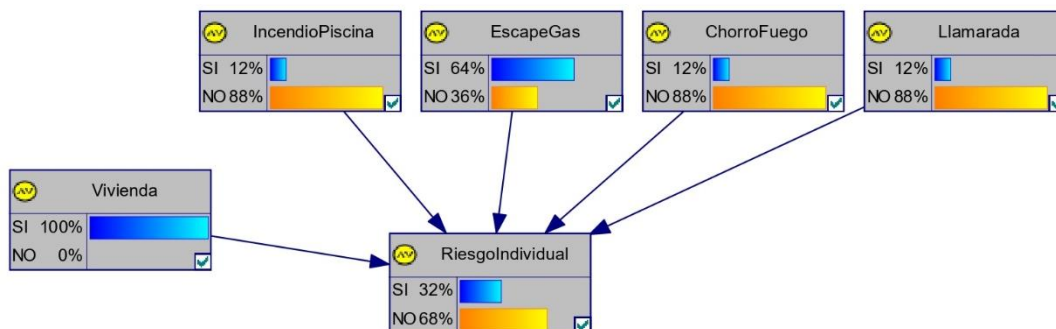


Figura 15. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para una bomba centrífuga

Fuente: Propia, 2020

- Carrotanque

La probabilidad del riesgo individual a causa de los efectos finales o consecuencias de la falla de un carrotanque se pueden observar en la Figura 16, en donde la probabilidad es de 32%.

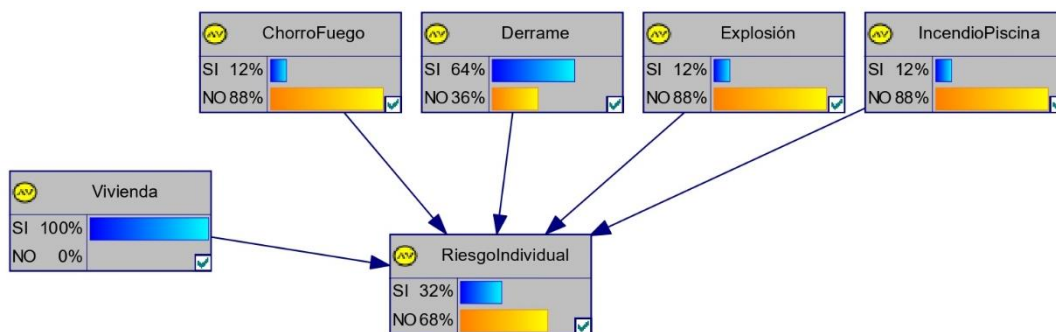


Figura 16. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

- Compresor centrífugo

En la Figura 17 se evidencia la probabilidad del riesgo individual para un compresor centrífugo, en donde el 31% hace referencia a la probabilidad de que una persona muera a causa de que este equipo explote o desencadene una llamarada.

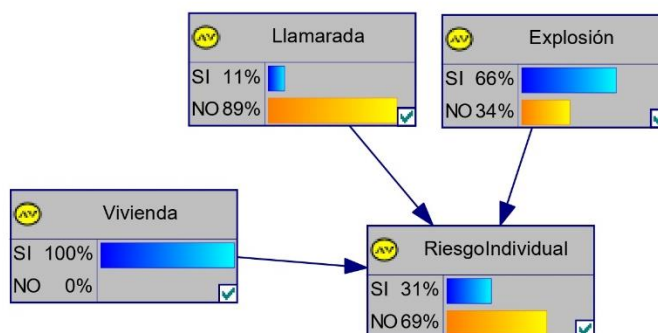


Figura 17. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un compresor centrífugo

Fuente: Propia, 2020

- Línea de flujo

La probabilidad del riesgo individual a causa de los efectos finales o consecuencias de la falla de una línea de flujo se pueden observar en la Figura 18, en donde la probabilidad es de 32%.

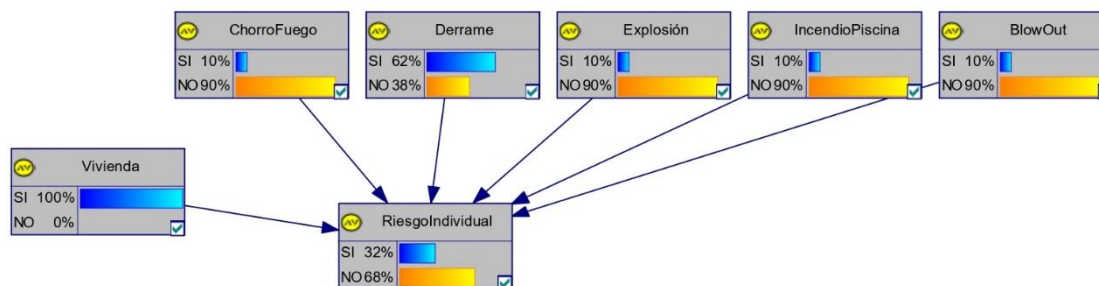


Figura 18. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para una línea de flujo

Fuente: Propia, 2020

- Separador

En la Figura 19 se evidencia la probabilidad del riesgo individual para un separador, en donde el 25% hace referencia a la probabilidad de que una persona muera a causa de los diferentes escenarios que desencadena la falla de este equipo.

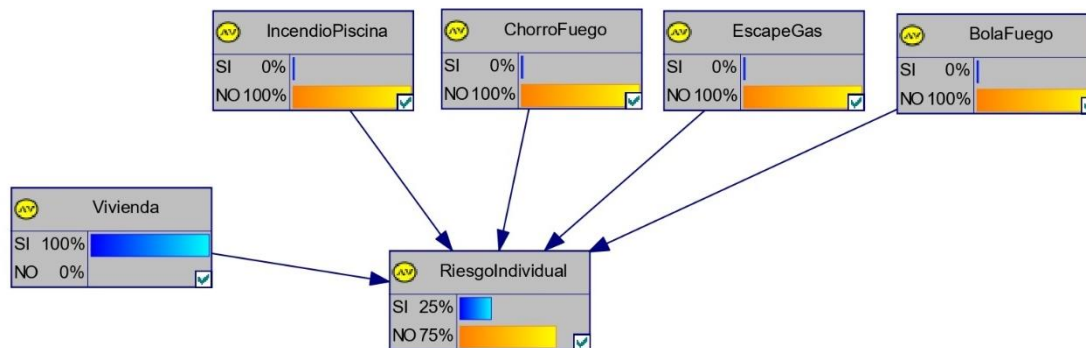


Figura 19. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un separador

Fuente: Propia, 2020

- Tanque de almacenamiento

En la Figura 20 se evidencia la probabilidad del riesgo individual para un tanque de almacenamiento el cual es de 32% según sus escenarios o efectos finales.

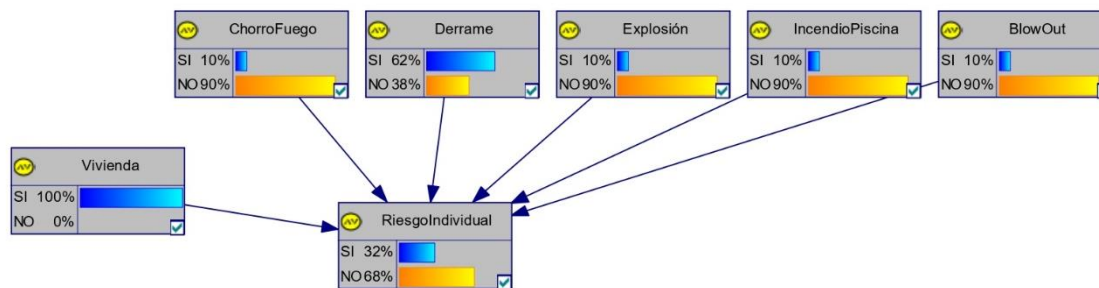


Figura 20. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para un tanque de almacenamiento

Fuente: Propia, 2020

- Tea

En la Figura 21, se puede observar la probabilidad de riesgo individual. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 32% de que una persona muera.

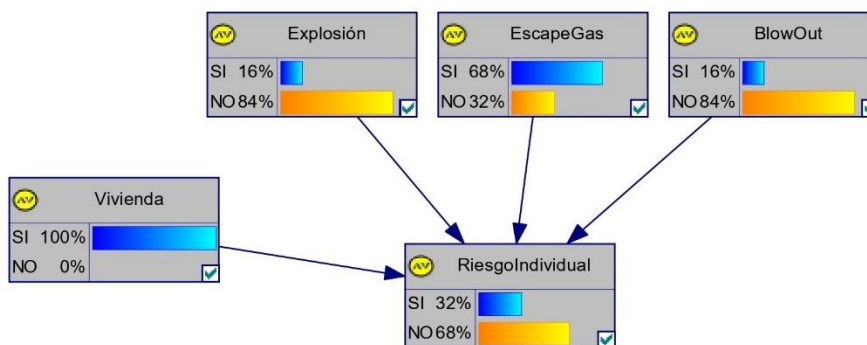


Figura 21. Cálculo de la probabilidad del riesgo individual para una tea

Fuente: Propia, 2020

Riesgo ambiental

Para la elaboración y análisis del riesgo ambiental se tuvo en cuenta los efectos finales (consecuencias) de cada uno de los equipos utilizados en el sector, 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.

A continuación, se pueden observar las redes bayesianas para cada uno de los equipos, en donde se evidencia la probabilidad de afectación al medio ambiente.

- Bomba centrífuga

En la Figura 22, se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental, 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.

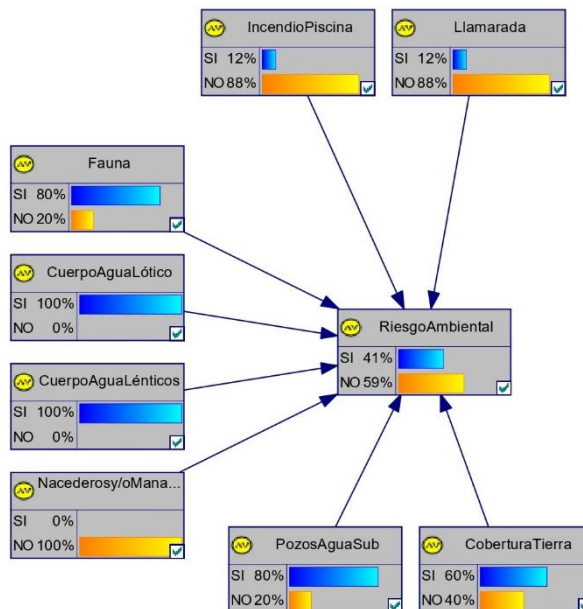


Figura 22. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para una bomba centrífuga

Fuente: Propia, 2020

- Carrotanque

En la Figura 23, se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental de un 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.

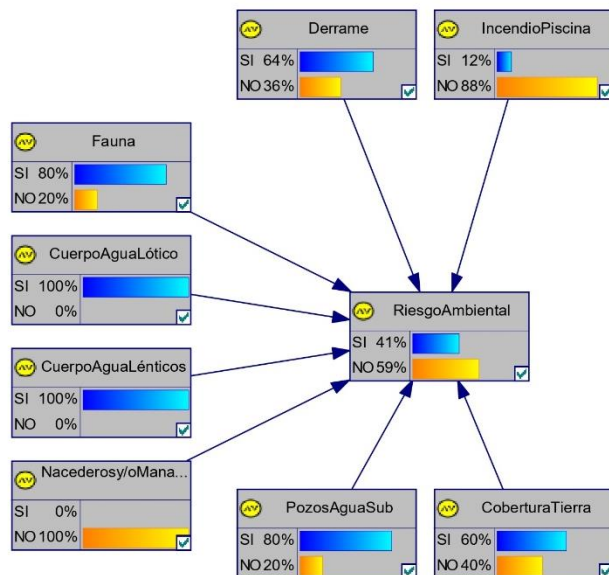


Figura 23. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

- Compresor centrífugo

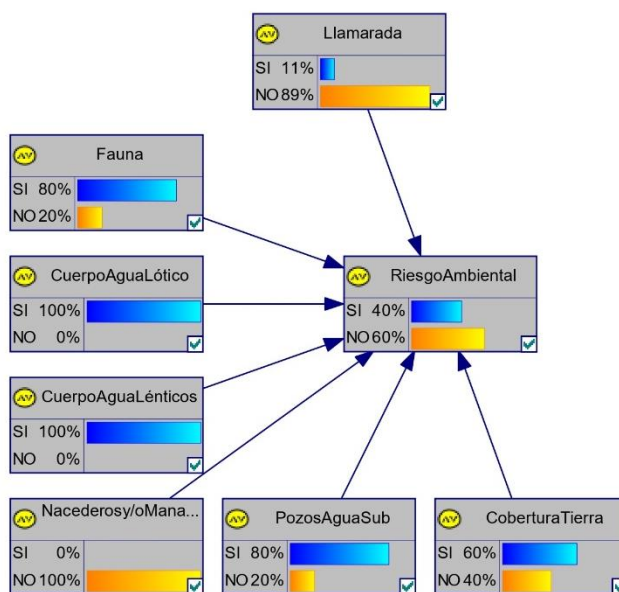


Figura 24. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un compresor centrífugo

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 24, se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental de un compresor centrífugo, en donde se simula la presencia de fauna, cuerpos de agua lenticos y loticos, pozos de agua subterránea y una cobertura de bosque abierto o fragmentado dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 40% de afectación o deterioro del medio ambiente.

- Línea de flujo

Se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental de una línea de flujo en la Figura 25, en donde se simula la presencia de fauna, cuerpos de agua loticos, pozos de agua subterránea y una cobertura de zonas industrializadas o comerciales dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 38% de afectación o deterioro del medio ambiente.

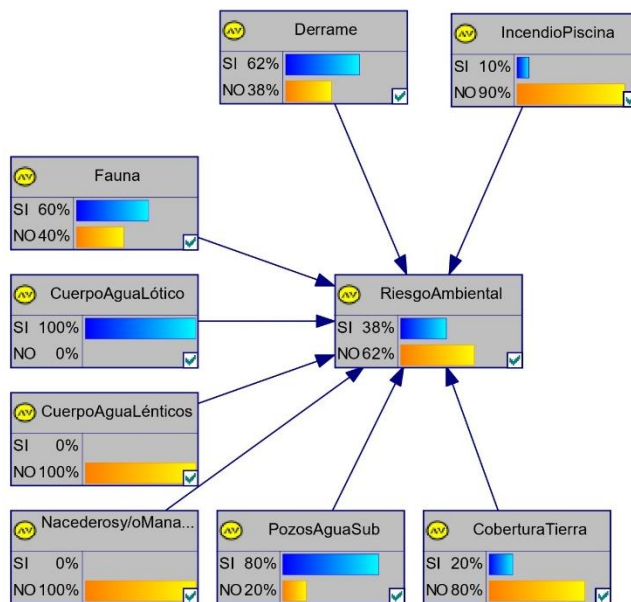


Figura 25. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para una línea de flujo

Fuente: Propia, 2020

- Separador

En la Figura 26, se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental de un separador en donde se simula la presencia de fauna, cuerpos de agua lenticos, nacederos o manantiales y una cobertura de herbazal abierto dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 38% de afectación o deterioro del medio ambiente.

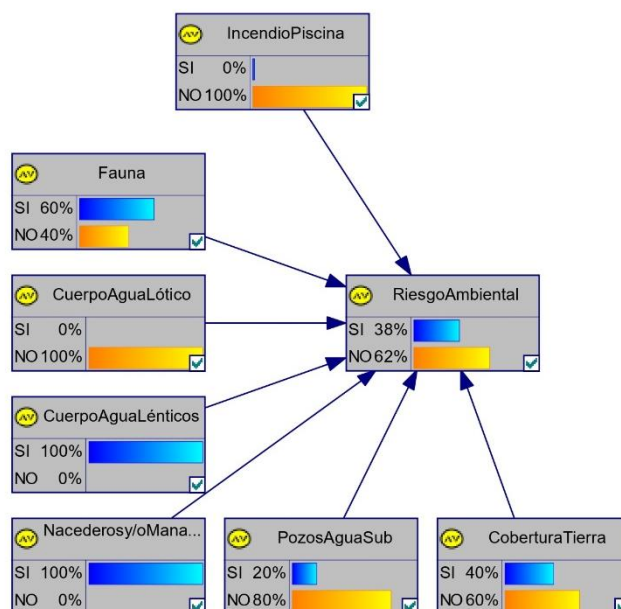


Figura 26. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un separador

Fuente: Propia, 2020

- Tanque de almacenamiento

En la Figura 27, se puede observar la probabilidad de riesgo ambiental de un tanque de almacenamiento en donde se simula la presencia de fauna, cuerpos de agua lenticos, nacederos o manantiales y una cobertura de herbazal abierto dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 43% de afectación o deterioro del medio ambiente.

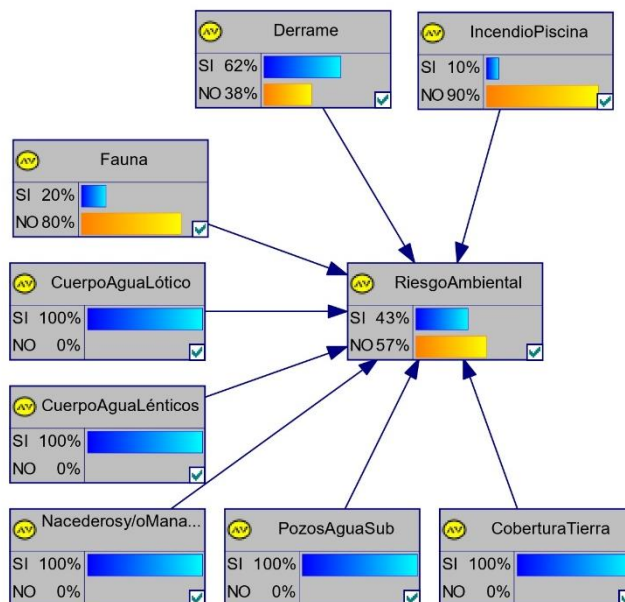


Figura 27. Cálculo de la probabilidad del riesgo ambiental para un tanque de almacenamiento

Fuente: Propia, 2020

- Tea

Como se mencionó anteriormente, dentro del análisis del riesgo ambiental solo se consideran los efectos o sucesos finales de derrame, incendio de piscina y llamarada, efectos que para este equipo no se presentan en el análisis realizado, puesto que dicho análisis arrojó unas consecuencias de explosión, escape de gas y Blow Out. Por tal motivo, no se realiza el análisis de riesgo ambiental.

Riesgo social

Para la elaboración y análisis del riesgo social se tuvo 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 social con su respectivo índice de importancia.

A continuación, se pueden observar las redes bayesianas para cada uno de los equipos, en donde se evidencia la probabilidad de que un grupo de personas mueran.

- Bomba centrífuga

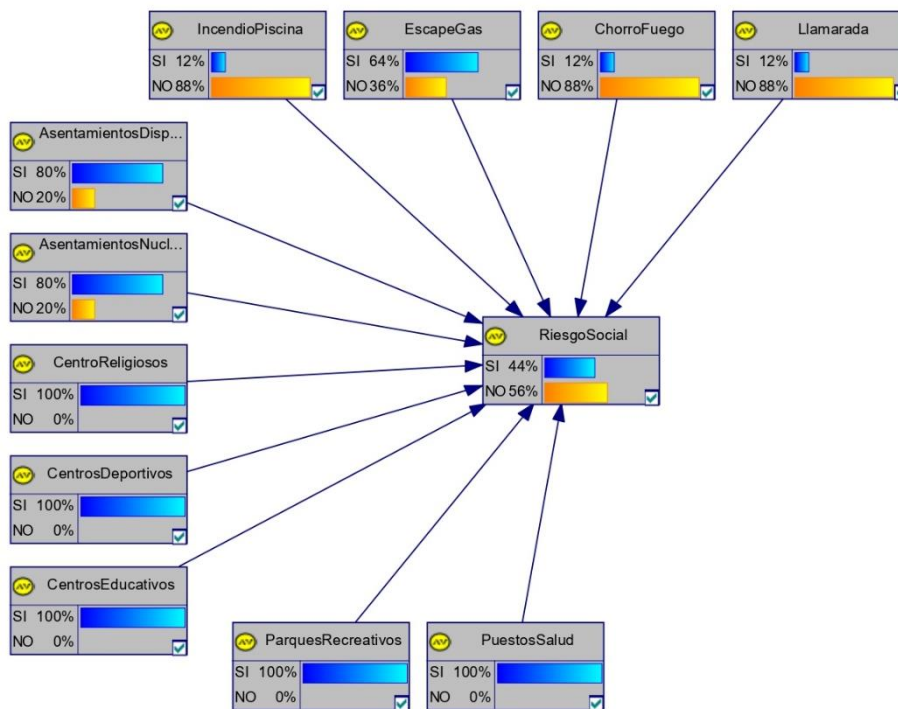


Figura 28. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para una bomba centrífuga

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 28, se puede observar la probabilidad de riesgo social de una bomba centrífuga en donde se simula la presencia de asentamientos dispersos y nucleados, centros religiosos, centros deportivos, centros educativos, parques recreativos y centros de salud dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 44% de que un grupo de personas mueran.

- Carrotanque

En la Figura 29, se puede observar la probabilidad de riesgo social de un 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.

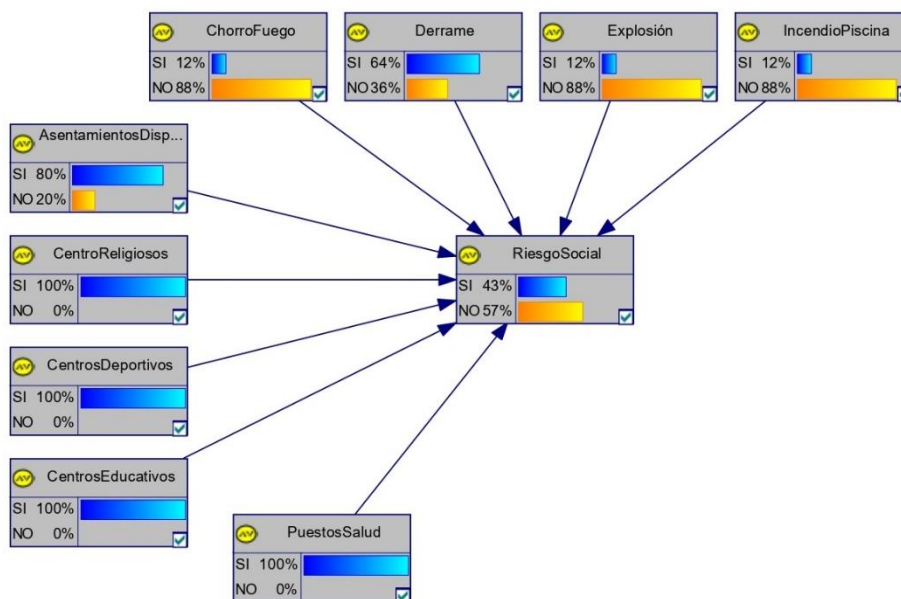


Figura 29. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

- Compresor centrífugo

En la Figura 30, se puede observar la probabilidad de riesgo social de un compresor centrífugo en donde se simula la presencia de asentamientos nucleados, centros religiosos, centros deportivos, centros educativos, parques recreativos 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.

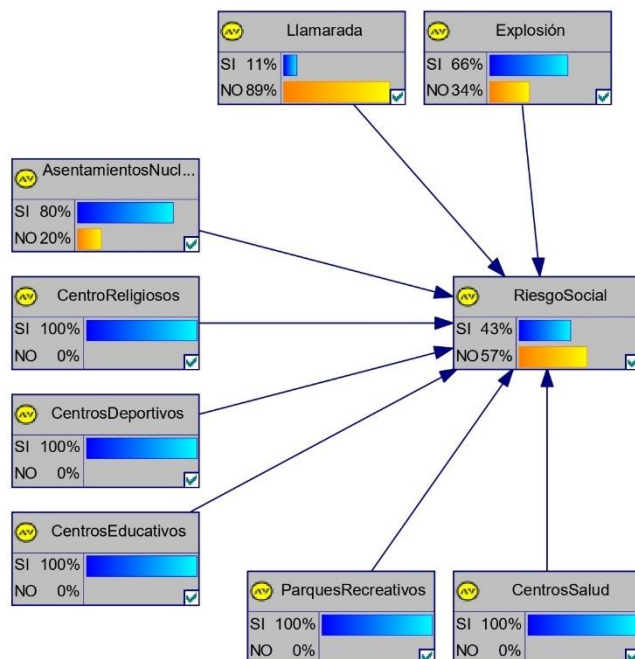


Figura 30. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un compresor centrífugo

Fuente: Propia, 2020

- Línea de flujo

En la Figura 31, se puede observar la probabilidad de riesgo social de una línea de flujo en donde se simula la presencia de asentamientos dispersos y nucleados, centros religiosos, centros deportivos, centros educativos, parques recreativos y centros de salud dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 44% de que un grupo de personas mueran.

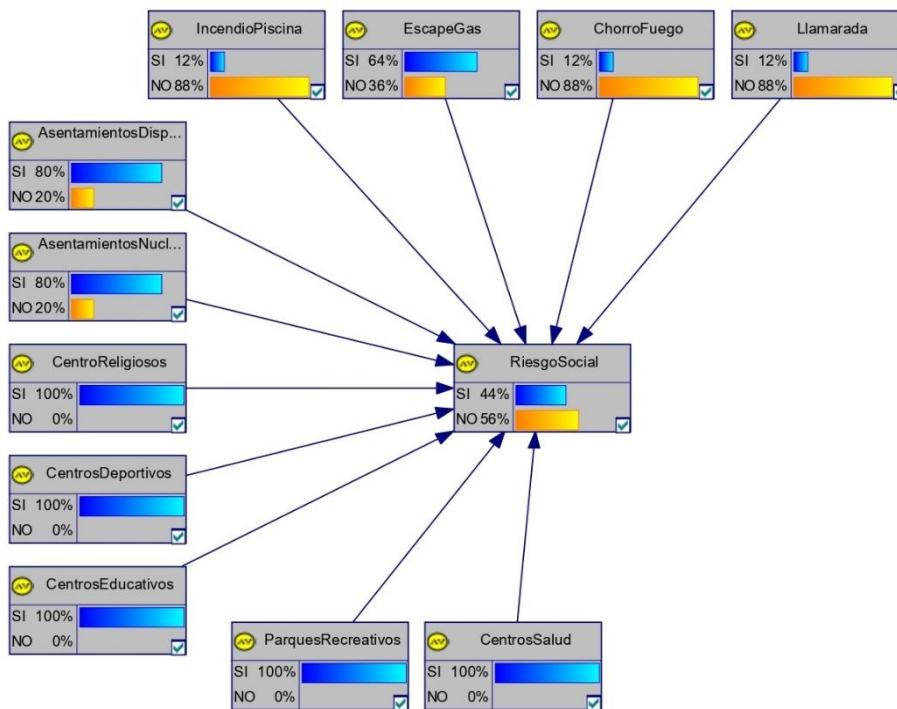


Figura 31. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para una línea de flujo

Fuente: Propia, 2020

- Separador

En la Figura 32, se puede observar la probabilidad de riesgo social de un separador en donde se simula la presencia de asentamientos nucleados, centros religiosos, centros deportivos, centros educativos, parques recreativos 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.

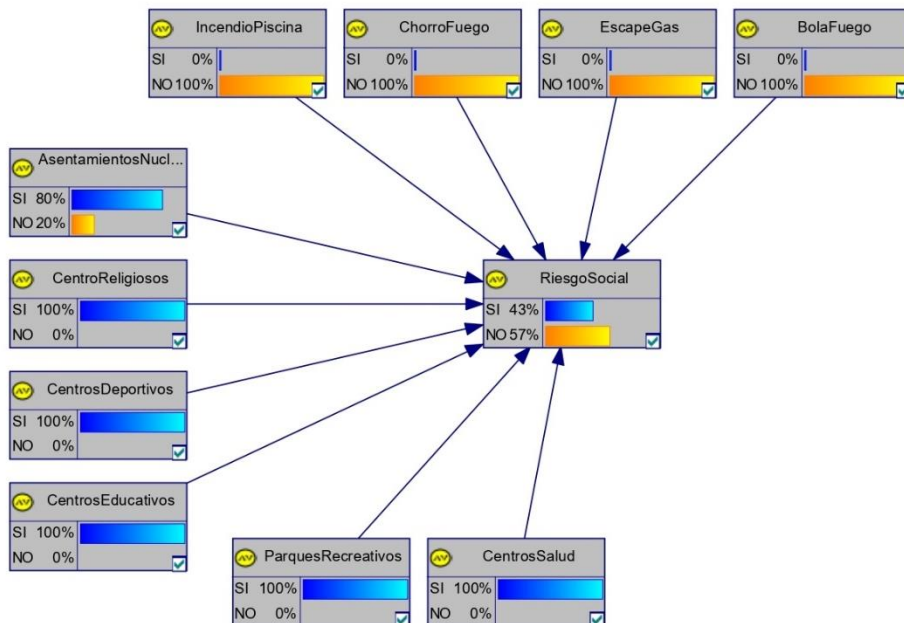


Figura 32. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un separador

Fuente: Propia, 2020

- Tanque de almacenamiento

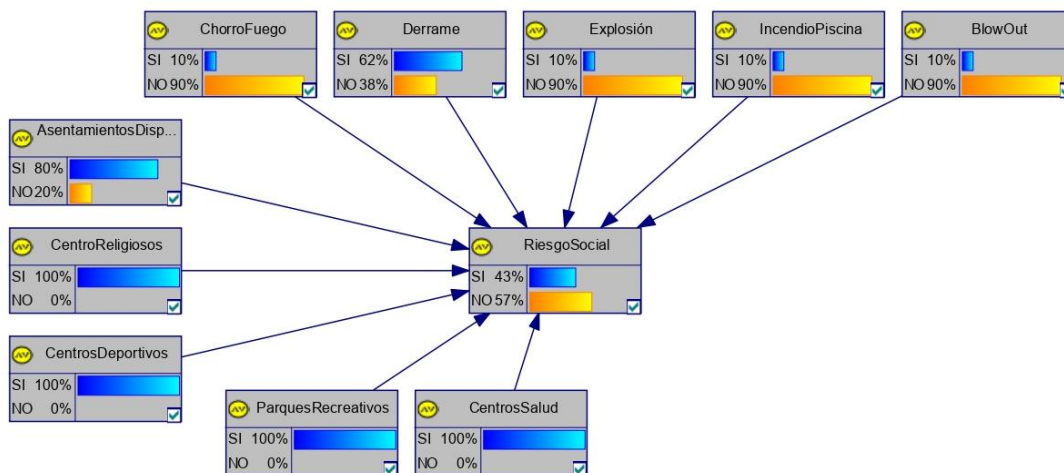


Figura 33. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para un tanque de almacenamiento

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 33, se puede observar la probabilidad de riesgo social de un tanque de almacenamiento en donde se simula la presencia de asentamientos dispersos, centros religiosos, centros deportivos, parques recreativos 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.

- Tea

En la Figura 34, se puede observar la probabilidad de riesgo social de una tea en donde se simula la presencia de asentamientos nucleados, centros religiosos, centros deportivos, parques recreativos 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.

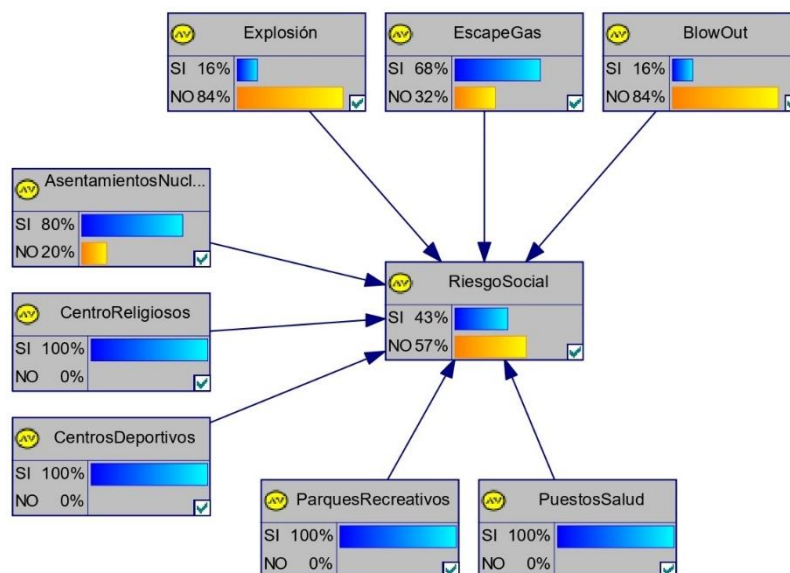


Figura 34. Cálculo de la probabilidad del riesgo social para una tea

Fuente: Propia, 2020

Riesgo socioeconómico

Para la elaboración y análisis del riesgo socioeconómico se tuvo 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 socioeconómica con su respectivo índice de importancia.

A continuación, se pueden observar las redes bayesianas para cada uno de los equipos, en donde se evidencia la probabilidad de que haya una afectación indirecta y directa a nivel social y socioeconómico.

- Bomba centrífuga

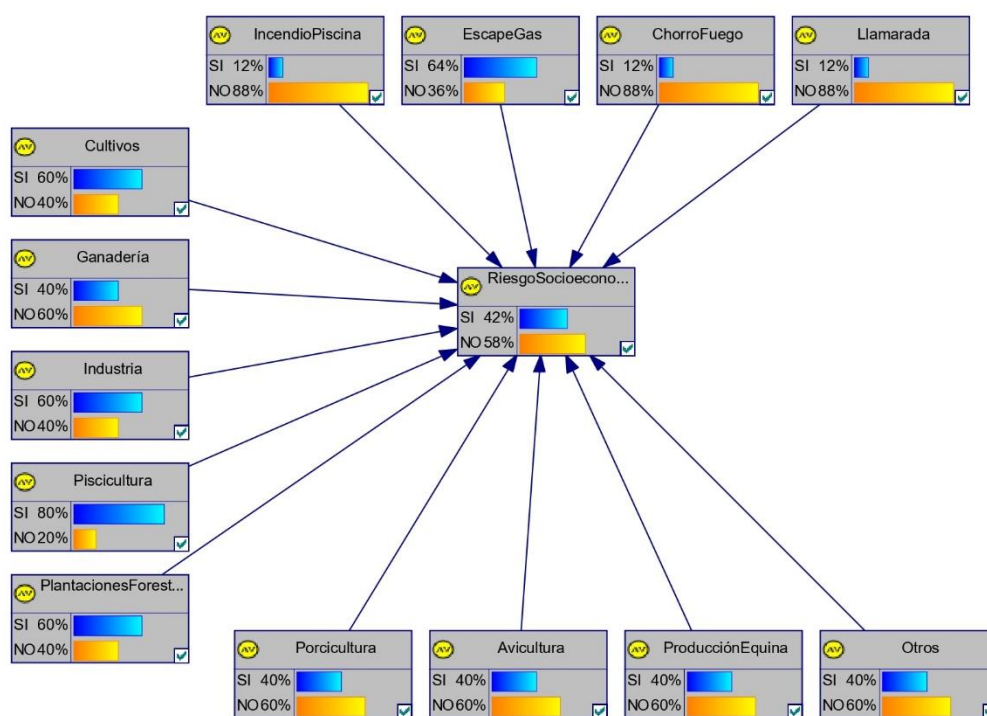


Figura 35. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para una bomba centrífuga

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 35, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de una bomba centrífuga 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 42%.

- Carrotanque

En la Figura 36, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de una bomba centrífuga 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%.

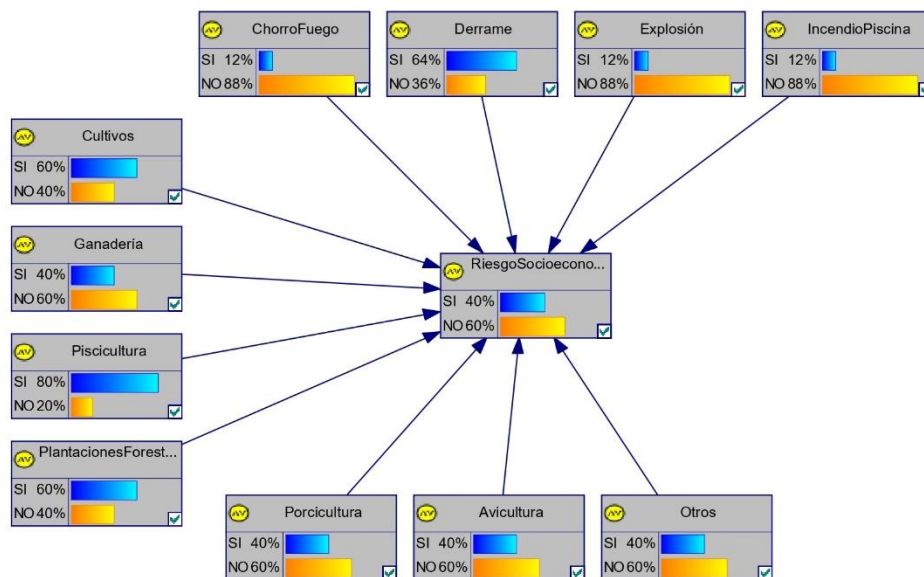


Figura 36. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un carrotanque

Fuente: Propia, 2020

- Compresor centrífugo

En la Figura 37, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de un compresor centrífugo en donde se simula la presencia de cultivos, ganadería, piscicultura, porcicultura y avicultura, dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 37%.

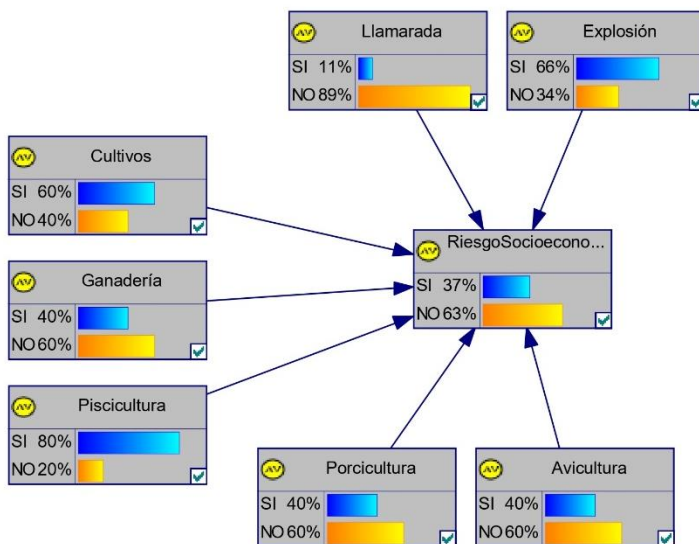


Figura 37. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un compresor centrífugo

Fuente: Propia, 2020

- Línea de flujo

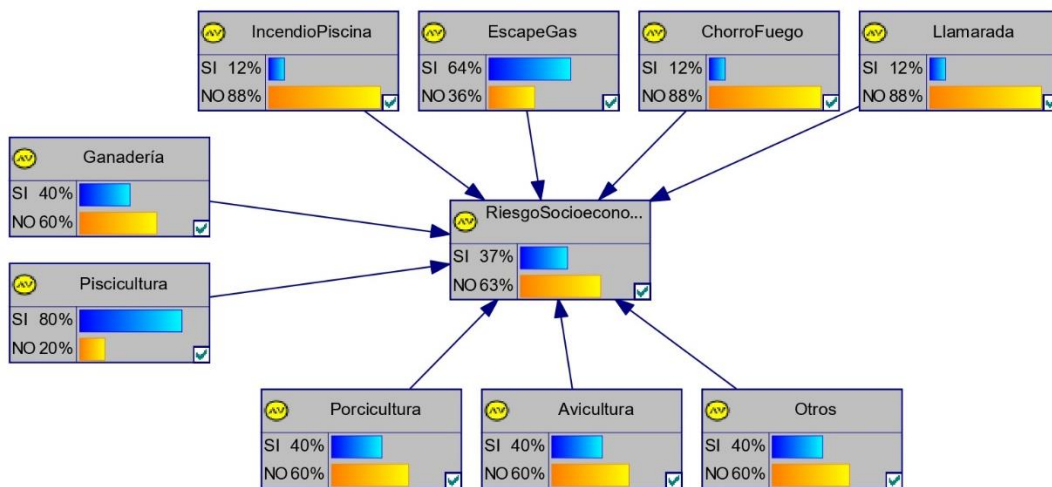


Figura 38. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para una línea de flujo

Fuente: Propia, 2020

En la Figura 38, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de una línea de flujo en donde se simula la presencia de ganadería, piscicultura, porcicultura, avicultura y producción caprina (otros) dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 37%.

- Separador

En la Figura 39, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de un separador en donde se simula la presencia de cultivos, ganadería, plantaciones forestales, porcicultura, avicultura y producción equina dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 35%.

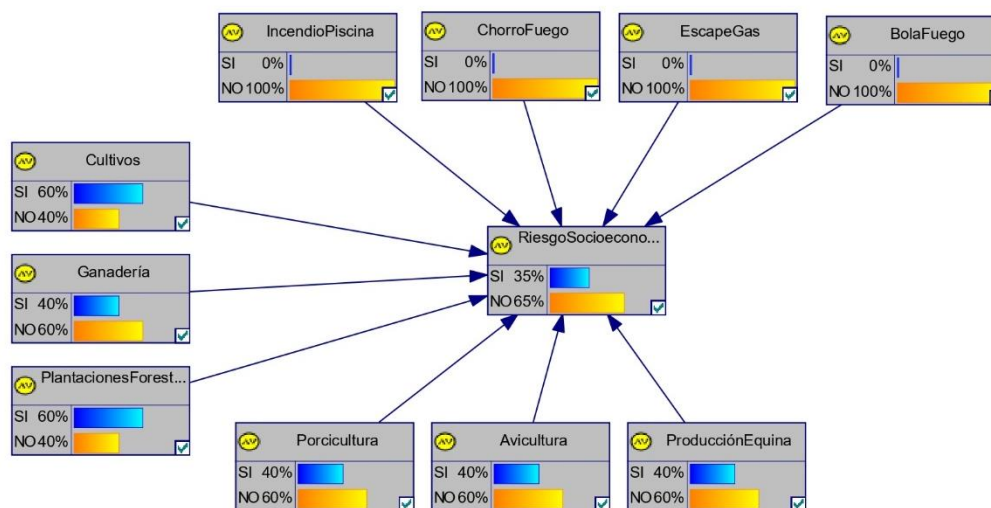


Figura 39. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un separador

Fuente: Propia, 2020

- Tanque de almacenamiento

En la Figura 40, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de un tanque de almacenamiento en donde se simula la presencia de cultivos, ganadería, industria,

piscicultura, porcicultura y avicultura dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 40%.

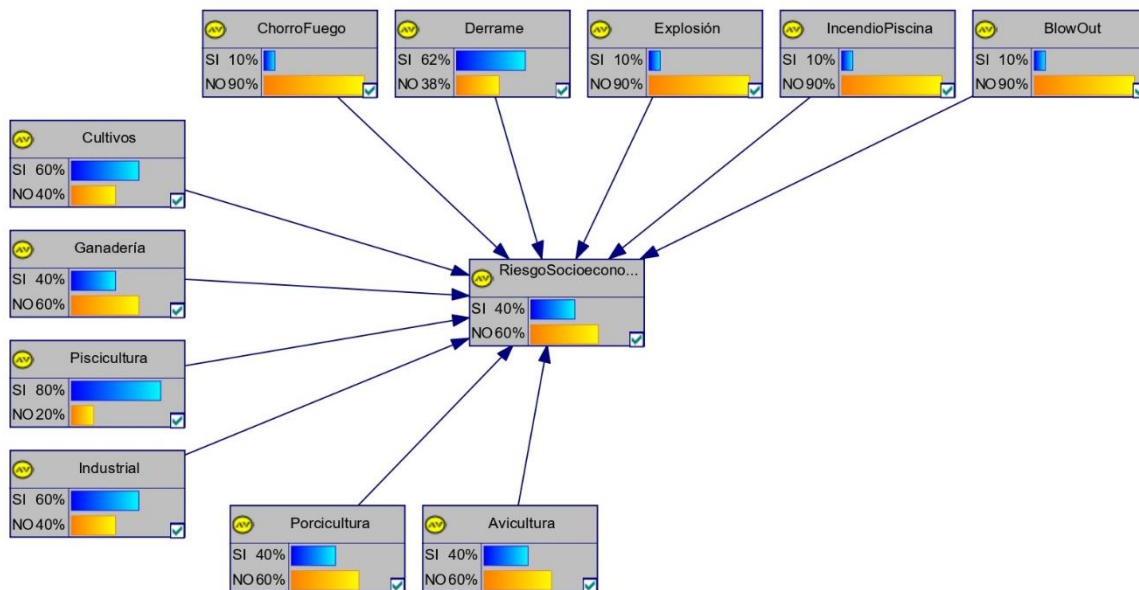


Figura 40. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para un tanque de almacenamiento

Fuente: Propia, 2020

- Tea

En la Figura 41, se puede observar la probabilidad de riesgo socioeconómico de una tea en donde se simula la presencia de industria, piscicultura, avicultura y producción caprina (otros) dentro del área de influencia del proyecto. En esta se evidencia que hay una probabilidad de un 37%.

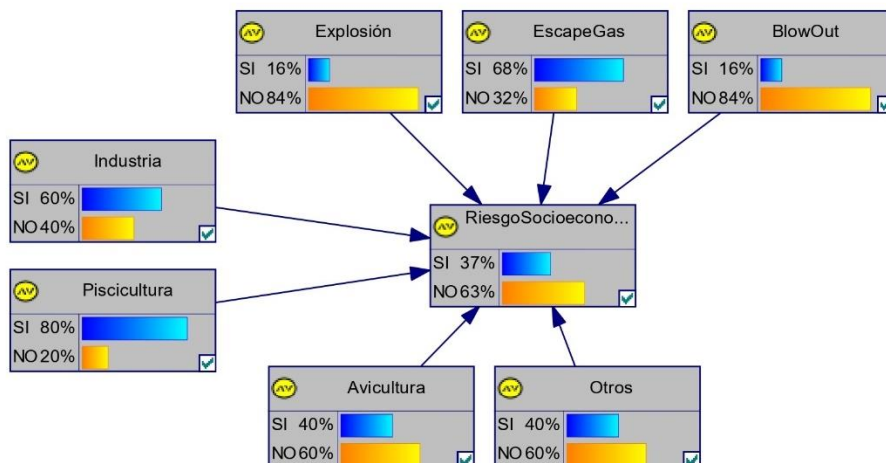


Figura 41. Cálculo de la probabilidad del riesgo socioeconómico para una tea

Fuente: Propia, 2020

Aceptabilidad del riesgo

La aceptabilidad del riesgo se basó 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 28.

Tabla 28. 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,

Probabilidad del riesgo	Aceptabilidad del riesgo	Medidas de acción
		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

A continuación, se puede observar la aceptabilidad de riesgo para cada uno de los riesgos analizados anteriormente.

- Riesgo individual

En la Tabla 29 se puede observar que, para el riesgo individual, los riesgos asociados a los equipos están en un rango aceptable por lo que es necesario mantener y en lo posible corregir para asegurar la mejora continua y lograr que el riesgo disminuya cada vez más. Sin embargo, al ser el riesgo aceptable no es necesario implementar acciones de alerta.

Tabla 29. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo individual

Equipo	Riesgo	Aceptabilidad del riesgo
Bomba centrífuga	32% - 0,32	Aceptable
Carrotanque	32% - 0,32	Aceptable
Compresor centrífugo	31% - 0,31	Aceptable
Línea de flujo	32% - 0,32	Aceptable
Separador	25% - 0,25	Aceptable
Tanque de almacenamiento	32% - 0,32	Aceptable
Tea	32% - 0,32	Aceptable

Fuente: Propia, 2020

- Riesgo ambiental

En la Tabla 30 se puede observar que, para el riesgo ambiental, los riesgos asociados a los equipos están en un rango aceptable y tolerable (en gran mayoría), por lo que es necesario implementar medidas de reducción del riesgo, como puede ser el continuo mantenimiento de los equipos, la supervisión, capacitaciones al personal, entre otras medidas para que el riesgo disminuya y se convierta en aceptable.

Tabla 30. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo ambiental

Equipo	Riesgo	Aceptabilidad del riesgo
Bomba centrífuga	41% - 0,41	Tolerable
Carrotanque	41% - 0,41	Tolerable
Compresor centrífugo	40% - 0,40	Tolerable
Línea de flujo	38% - 0,38	Aceptable
Separador	38% - 0,38	Aceptable
Tanque de almacenamiento	43% - 0,43	Tolerable

Fuente: Propia, 2020

- Riesgo social

En la Tabla 31 se puede observar que, para el riesgo social, los riesgos asociados a los equipos están en un rango tolerable, por lo que es necesario implementar medidas de reducción del riesgo, como puede ser el continuo mantenimiento de los equipos, barreras contra incendios naturales, entrenamiento adecuado al personal, entre otras medidas para que el riesgo disminuya y se convierta en aceptable.

Tabla 31. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo social

Equipo	Riesgo	Aceptabilidad del riesgo
Bomba centrífuga	44% - 0,44	Tolerable
Carrotanque	43% - 0,43	Tolerable
Compresor centrífugo	43% - 0,43	Tolerable

Línea de flujo	44% - 0,44	Tolerable
Separador	43% - 0,43	Tolerable
Tanque de almacenamiento	43% - 0,43	Tolerable
Tea	43% - 0,43	Tolerable

Fuente: Propia, 2020

- Riesgo Socioeconómico

En la Tabla 32 se puede observar que, para el riesgo socioeconómico, los riesgos asociados a los equipos están en un rango aceptable y tolerable, por lo que es necesario implementar medidas de reducción del riesgo, como puede ser el continuo mantenimiento de los equipos, capacitaciones al personal, entre otras medidas para que el riesgo disminuya y se convierta en aceptable.

Tabla 32. Aceptabilidad del riesgo para el riesgo socioeconómico

Equipo	Riesgo	Aceptabilidad del riesgo
Bomba centrífuga	42% - 0,42	Tolerable
Carrotanque	40% - 0,40	Tolerable
Compresor centrífugo	37% - 0,37	Aceptable
Línea de flujo	37% - 0,37	Aceptable
Separador	35% - 0,35	Aceptable
Tanque de almacenamiento	40% - 0,40	Tolerable
Tea	37% - 0,37	Aceptable

Fuente: Propia, 2020

Conclusiones

En cuanto a los eventos amenazantes se puede concluir, que las actividades realizadas en la etapa de montaje y operación son las que más generan dichos eventos, los cuales pueden ser valorados o utilizados para el análisis de riesgos, esto se debe a que en las demás actividades o etapas predominan eventos amenazantes de tipo operacional y antrópico los cuales deben ser evaluados en el sistema de seguridad y salud en el trabajo. En las revisiones realizadas de los Planes de Gestión de Riesgo suministrados por Seruans Environment S.A.S, los equipos más utilizados por el sector de hidrocarburos son: las bombas para los pozos, separadores, los tanques de almacenamiento, bomba centrífuga, las líneas de flujo, carrotanque, tea y compresor centrífugo.

En las visitas realizadas a campo, se identificó gran variedad de elementos expuesto los cuales son parecidos o similares en las zonas concurridas. Por ejemplo, en las tres regiones del país (llanos orientales, valle inferior del Magdalena y valle medio del Magdalena) se encontraron cultivos y ganadería, viviendas cercanas a las plataformas, asentamientos dispersos o nucleados cercanos a las líneas de flujo, cuerpos de agua loticos y lenticos, centros de salud, entre otros. Con referencia al índice de importancia, estos se dieron teniendo en cuenta a los servicios ecosistémicos o la sensibilidad que cada uno de ellos tiene.

Para llevar a cabo el análisis de riesgo autores como (Unnikrishnan, 2020), consideran la baja eficiencia de la metodología Análisis Cuantitativo de Riesgo (QRA) puesto que no revela un perfil de riesgo más completo con causas y efectos como si lo hace la metodología de Red Bayesiana (RB).

La implementación del software GeNle 3.0 Academic, facilita y simplifica la aplicación de las redes bayesiana en el cálculo y análisis de riesgo. Sin embargo, es necesario la identificación y caracterización de las causas de las fallas, sus respectivos efectos y sucesos finales.

Como se pudo observar en el análisis de riesgo, para algunos casos la probabilidad del riesgo es igual, esto se da porque los índices de importancia tienen unos valores similares.

Haciendo énfasis en la aceptabilidad del riesgo, la metodología más utilizada y documentada es la As Low As Reasonably Practicable (ALARP), esto por influir dentro de su definición de aceptabilidad varias características que agrupan los componentes sociales, socioeconómicos, políticos, la salud de las personas entre otras; por ello se considera como una metodología de definición subjetiva, es decir, que es perteneciente o relativo al modo de pensar o de sentir del sujeto (RAE, 2020). Sin embargo, al realizar el cruce con la matriz de riesgos sugerida en la ISO 17776 de 2016, la aceptabilidad queda estandarizada.

Como conclusiones generales, es importante decir que, al realizar la búsqueda de información y antecedentes sobre este tema, no se encuentran muchos documentos, artículos, libros, etc que hagan énfasis en el sector de hidrocarburos, de igual manera a pesar de que la metodología QRA es la utilizada actualmente para realizar el análisis de riesgo, tampoco se encuentra información de peso que sustente la utilidad, ventajas y/o desventajas.

Recomendaciones

Al momento de hacer la caracterización de los eventos amenazantes, es recomendable realizar una identificación de las actividades y equipos exhaustiva y hacer el levantamiento de 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.

Se recomienda que en próximos estudios o investigaciones se realice una guía metodológica para la generación de mapas de riesgo ambiental, social, socioeconómico e individual, puesto que estas son representaciones graficas que facilitan la interpretación de los riesgos junto con sus áreas de afectación.

Realizar el análisis del riesgo a todos los equipos e infraestructura asociada al sector de hidrocarburos, para asegurar que un análisis completo y eficaz.

Desarrollar un análisis completo de las causas de las fallas a los equipos o infraestructura que puedan desencadenar un evento amenazante.

Implementar medidas de acción que promuevan la mejora continua y la disminución de los riesgos, estos como mantenimiento a los equipos, capacitaciones a los operarios, puntos de control bien definidos, entre otros.

Referencias

- Agencia Nacional de Hidrocarburos(ANH). (2020). *Mapa de Tierras*. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). <https://www.anh.gov.co/hidrocarburos/oportunidades-disponibles/mapa-de-tierras>
- Ale, B. J. M., Hartford, D. N. D., & Slater, D. (2015). ALARP and CBA all in the same game. *Safety Science*, 76, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.02.012>
- 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>
- Broker, E. I. (2017). *Accidentes en el Sector de Hidrocarburos en 2016*. Energy Insurance Broker. <https://nrgibroker.com/accidentes-en-el-sector-hidrocarburos-en-2016/>
- Bucelli, M., Paltrinieri, N., & Landucci, G. (2018). Integrated risk assessment for oil and gas installations in sensitive areas. *Ocean Engineering*, December, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.12.035>
- Cardona, O. D. (n.d.). *Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo*.
- Cardona O., D. (2001). Conceptos de amenaza, vulnerabilidad y riesgo. *Estimación Holística Del Riesgo Sísmico Utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*, 5–20.
- Castañesa, L., & Muruugarra, N. (2008). *Red bayesiana e inferencia utilizando el algoritmo de eliminación de variables*. <http://nineil-leissi-cs.blogspot.com/2008/07/laboratorio7.html>
- Ley 1523, 1 (2012).
- Ley 1523, Diario Oficial No. 48.411 48 (2012). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>

Decreto 2157, 4 (2017).

Ecopetrol. (2013). *Guía de análisis de riesgo tecnológico para el sector hidrocarburos*.

Freedman, P. (2003). HAZOP. Como metodología de análisis de riesgos. *Media*, 60–63.

Gong, Y., Niu, Z., & Bai, T. (2020). Societal risk acceptance criteria for gas distribution pipelines based on incident data from the United States. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 63, 104002. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.104002>

International Standard. (2016). *ISO 17776. 2016, 2–7*.

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>

Langdalen, H., Abrahamsen, E. B., & Selvik, J. T. (2020). On the importance of systems thinking when using the ALARP principle for risk management. *Reliability Engineering and System Safety*, 204(February), 107222. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107222>

Leza Escriña y Asociados LEA. (2015). *ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS QRA (Quantitative Risk Assessment)*. 5(9). <http://goo.gl/PyuARL>

Lopez, E., Montes, E., Garavito, A., & Collazos, M. M. (2012). La economía petrolera en Colombia (Parte I) Marco legal - contractual y principales eslabones de la cadena de producción (1920-2010)1 *. *Repositorio Banco de La Republica*, 692(0), 4–12.

Martínez, A. G. (2013). *Columna Vertebral del Sector de Hidrocarburos*. 1. https://www.ecured.cu/Columna_verttebral

Maskrey, A., & Cardona, O. D. (1993). Los Desastres no son Naturales Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. *La Red*, 51–74.

Morano, P., Oppio Alessandra, Paolo, R., Leopoldo, S., & Francesco, T. (n.d.). *Appraisal and Valuation*.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). *Resiliencia ante las amenazas naturales y los consiguientes desastres*. <http://www.fao.org/resilience/areas-de-trabajo/amenazas-naturales/es/>

Pike, H., Khan, F., & Amyotte, P. (2020). Precautionary Principle (PP) versus As Low As Reasonably Practicable (ALARP): Which one to use and when. *Process Safety and Environmental Protection*, 137, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.02.026>

RAE. (2020). *Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/subjetivo>

Repsol, R., Riesgos, A. De, & Negocio, U. De. (2012). *La Gestión del Riesgo Industrial , una herramienta para evitar accidentes catastróficos*.

Roqué, M. V., Macpherson, I., & Gonzalvo Cirac, M. (2015). El principio de precaución y los límites en biomedicina. *Persona y Bioética*, 19(1), 129–139. <https://doi.org/10.5294/pebi.2015.19.1.10>

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>

Smith, D. J. (2017). Chapter 10 - Risk Assessment (QRA). In *Reliability, Maintainability and Risk (Ninth Edition)* (Nineth Edi). David J. Smith. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102010-4.00010-8>

Steijn, W. M. P., Van Kampen, J. N., Van der Beek, D., Groeneweg, J., & Van Gelder, P. H. A. J. M. (2020). An integration of human factors into quantitative risk analysis using Bayesian

- Belief Networks towards developing a 'QRA+.' *Safety Science*, 122(September 2019), 104514. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104514>
- 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>
- Tchiehe, D. N., & Gauthier, F. (2017). Classification of risk acceptability and risk tolerability factors in occupational health and safety. *Safety Science*, 92, 138–147. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.10.003>
- The Energy-related Severe Accident Database (ENSAD). (2020). *The Energy-related Severe Accident Database*. <http://www.ensad.ch/eve/EVE-visualization.jsp>
- 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>
- UNGRD. (2018). Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 30 años. *Presentación En CEPAL, 2018, 31*. https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/sistema_nacional_de_gestion_del_riesgo_de_desastres_-_claudia_satzibal.pdf
- 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>

Anexos

Anexo 1. Guía metodológica para el análisis de riesgo de las actividades de exploración y explotación del sector hidrocarburos.