



# **Análisis de Riesgo**

## **SISTEMA TRES**



**Título:****Evaluación de Riesgos**

Primera Edición 2018  
Segunda Edición 2023

Paul Sánchez Franco  
+593 98 4441555  
[psanchez@ueb.edu.ec](mailto:psanchez@ueb.edu.ec)

ISBN: 978-9942-38-108-8

Guaranda – Ecuador

**Foto de portada**

Paul Sánchez Franco  
2009

A grayscale background image featuring a hand pointing at a financial line chart. The chart displays various data points and trends, with some numerical values like 7.33, 59.66, 77.54, and 50.09 visible. The title 'Evaluación de Riesgo' is prominently displayed in red text over the center of the image.

# **Evaluación de Riesgo**

## Agradecimiento del autor

Muy difícil agradecer cuando la vida me ha dado todo. Sin embargo, quiero agradecer al pueblo sueco, a través de la **Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (SIDA)**, que me enseñó el manejo de los eventos peligrosos industriales y en realidad me cambio la visión de la vida.

Al pueblo japonés, a través del **Centro Asiático de Reducción de Riesgos y la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional** que me enseñó el manejo de eventos peligrosos de origen natural

A la **Red de Universidades Latinoamericana y del Caribe para la Reducción de Riesgos de Desastres REDULAC**, que me dio la oportunidad de conocer más aun sobre reducción de riesgos de desastres.

A la **Universidad Estatal de Bolívar** y la **Universidad de Guayaquil**, que me dieron el conocimiento y la pasión por la gestión de riesgos de desastres.

Un agradecimiento muy especial al **Hospital Eugenio Espejo**, sitio en el que trabajé construyendo su sistema de reducción de riesgos de desastres y él a cambio me enseñó cómo se manejan los riesgos en centros de alta complejidad.

Mi agradecimiento especial a los **voluntarios de la Unidad de Gestión de Riesgos** de la Universidad Estatal de Bolívar, Evelyn Ramos, Mayra Naranjo, Micaela Gaibor, cambaron definitivamente mi vida.

Paul Sánchez Franco  
Guaranda 2024



# TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTO DEL AUTOR.....</b>	<b>IV</b>
<b>GESTIÓN DE RIESGOS.....</b>	<b>2</b>
<b>PROPÓSITO .....</b>	<b>2</b>
1. ACEPTACIÓN DEL RIESGO .....	3
2. TRANSFERENCIA DE RIESGOS .....	3
3. EVITAR EL RIESGO .....	3
4. REDUCCIÓN DE RIESGOS Y PREVENCIÓN DE PÉRDIDAS .....	3
5. COMPARTIR EL RIESGO .....	3
<b>¿CUÁLES SON LOS PRINCIPIOS DE LA GESTIÓN DE RIESGOS?.....</b>	<b>4</b>
<b>PROCESOS DE GESTIÓN DE RIESGO .....</b>	<b>4</b>
1. IDENTIFICAR LOS RIESGOS .....	4
2. EVALUAR LOS RIESGOS.....	5
3. TRATAR Y GESTIONAR EL RIESGO .....	5
4. REVISIÓN Y SEGUIMIENTO .....	5
<b>3. EJEMPLOS Y APLICACIONES DE LA GESTIÓN DEL RIESGO .....</b>	<b>5</b>
RIESGOS DE CUMPLIMIENTO .....	5
RIESGOS DE SEGURIDAD .....	5
RIESGO PARA LA SEGURIDAD DE LA INFORMACIÓN .....	6
<b>HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE RIESGO .....</b>	<b>6</b>
<b>REDUCCIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES.....</b>	<b>8</b>
<b>AMENAZA .....</b>	<b>9</b>
<b>VULNERABILIDAD.....</b>	<b>11</b>
<b>FLUJO DE ANÁLISIS DE RIESGO .....</b>	<b>13</b>
<b>FASES DEL ANÁLISIS DE RIESGO .....</b>	<b>14</b>
<b>IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PELIGROS.....</b>	<b>16</b>
<b>SISTEMA GENERAL.....</b>	<b>26</b>
<b>CUANTIFICANDO EL RIESGO CON ÍNDICES DE PROBABILIDAD .....</b>	<b>26</b>
RESUMEN .....	26
LA ECUACIÓN DEL RIESGO .....	27
<b>EVALUACIÓN.....</b>	<b>28</b>
EVALUACIÓN MULTICRITERIO .....	28
CRITERIO PARA LA PUNTUACIÓN .....	28
CRITERIO DE PESOS .....	29
PASO 2: ASIGNACIÓN DE PESOS.....	30
<b>SISTEMA TRES OPERACIONALIZACIÓN .....</b>	<b>32</b>
INICIO DE LA METODOLOGÍA.....	33
ELEMENTOS NECESARIOS.....	34
DEFINICIÓN DE OBJETIVOS .....	34
MATRIZ DE PLANIFICACIÓN I.....	34
MATRIZ DE PLANIFICACIÓN II.....	35

MATRIZ DE PLANIFICACIÓN III.....	36
BASES Y ANTECEDENTES PARA LA EVALUACIÓN.....	37
<b>MATRIZ DE RIESGO .....</b>	<b>38</b>
FORMA DE ACTUACIÓN .....	39
INDICADORES DE GRAVEDAD .....	40
PRIORIDAD .....	41
<b>CÁLCULO DE RIESGOS DE AMBIENTE .....</b>	<b>46</b>
<b>CÁLCULO DE RIESGO .....</b>	<b>47</b>
<b>EJEMPLO .....</b>	<b>48</b>

## **CÁLCULO DE PROBABILIDAD BASADO EN MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN .....53**

<b>ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA) .....</b>	<b>54</b>
CONSTRUCCIÓN DE ÁRBOLES DE FALLAS .....	55
IDENTIFICACIÓN DEL CONJUNTO MÍNIMO DE CORTES Y TRAZADOS.....	59
EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL ÁRBOL DE FALLAS.....	62
ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL ÁRBOL DE FALLAS .....	63
PROBABILIDAD DE EVENTO TOP .....	64
IMPORTANCIA DE LA FIABILIDAD.....	64
PROBABILIDADES BÁSICAS DE EVENTOS .....	65
ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE .....	66
VENTAJAS Y LIMITACIONES .....	66
<b>ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS DE CAUSA CCA.....</b>	<b>67</b>
INTRODUCCIÓN .....	67
PROCEDIMIENTO.....	67
IDENTIFICACIÓN DEL EVENTO INICIADOR.....	68
IDENTIFICACIÓN DE BARRERAS Y FUNCIONES DE SEGURIDAD .....	68
DESCRIPCIÓN DE LAS SECUENCIAS DE EVENTOS RESULTANTES .....	71
ANÁLISIS CUANTITATIVO .....	71
<b>ANÁLISIS PRELIMINAR DE PELIGROS .....</b>	<b>74</b>
PROCEDIMIENTO .....	74
LIMITACIONES.....	75
CLASES DE FRECUENCIA/CONSECUENCIA .....	75
CONSECUENCIAS.....	76
<b>MODOS DE FALLO Y ANÁLISIS DE EFECTOS.....</b>	<b>77</b>
<b>ANÁLISIS DE PELIGRO DE EXPLOSIÓN .....</b>	<b>78</b>
PREVENCIÓN DE EXPLOSIONES.....	78
EXPLOSIONES DE RECIPIENTES A PRESIÓN .....	80
<b>ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO .....</b>	<b>82</b>

## **CONCEPTOS ADICIONALES EN MEDICIÓN DE RIESGO .....84**

<b>ANÁLISIS COSTO BENEFICIO.....</b>	<b>84</b>
PASOS DE ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO .....	84
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	85
IDENTIFICAR LA OPCIÓN PREFERIDA .....	85
DECISIÓN SOBRE QUÉ OPCIÓN SELECCIONAR .....	85
<b>VALOR DE LA VIDA.....</b>	<b>86</b>
<b>NIVELES CRÍTICOS DE ACEPTACIÓN.....</b>	<b>89</b>
PRINCIPIOS PARA LA ACEPTACIÓN DEL RIESGO.....	91



ACEPTACIÓN DEL RIESGO .....	93
<b>RIESGO INDIVIDUAL .....</b>	<b>95</b>
RIESGO SOCIAL .....	96
<b>RIESGO E INCERTIDUMBRE.....</b>	<b>99</b>
¿CUÁL ES LA DIFERENCIA ENTRE RIESGO E INCERTIDUMBRE? .....	99
 <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	 <b>101</b>

## Tabla de gráficos

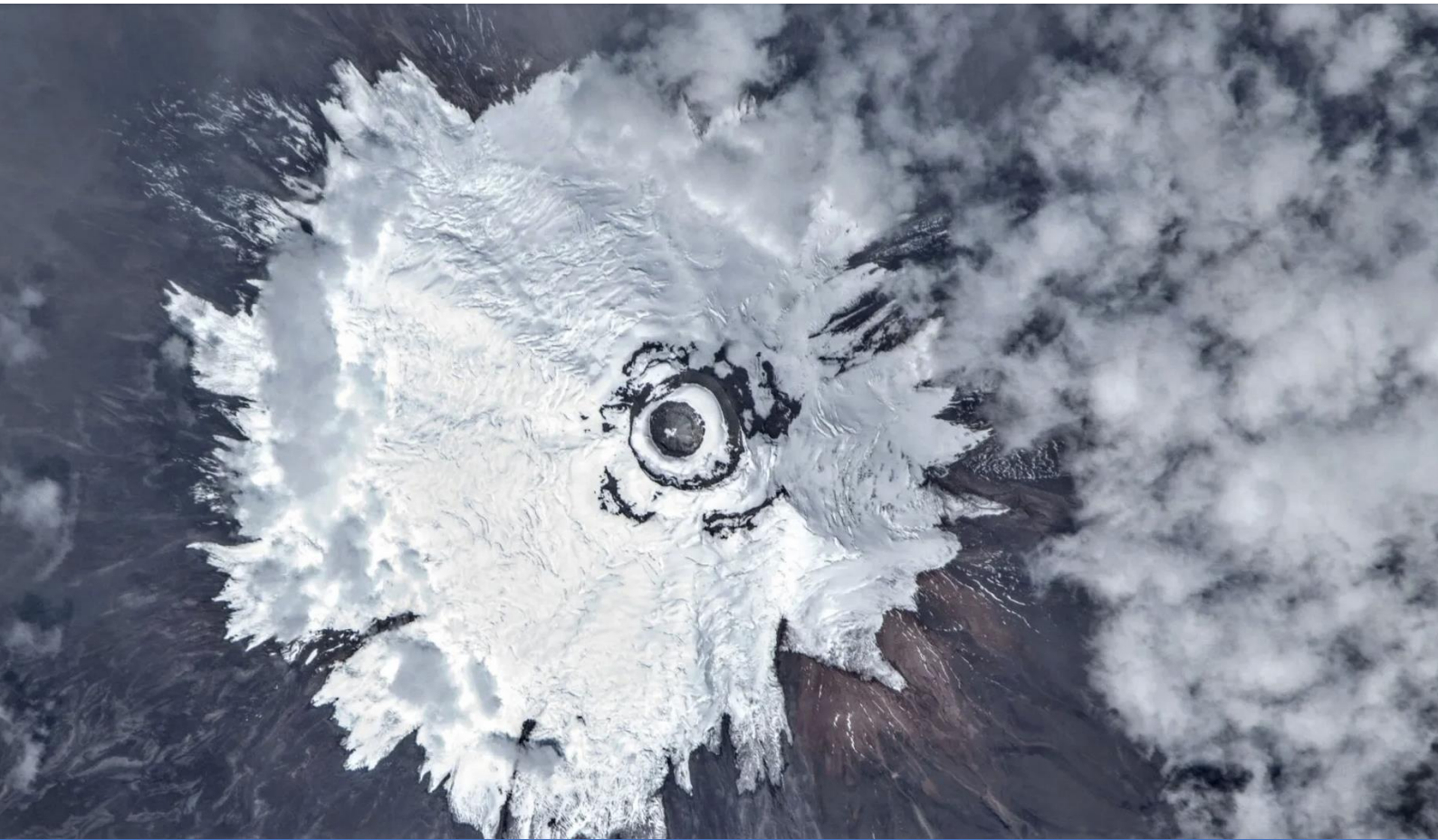
Gráfico 1: Proceso general de reducción de riesgos .....	7
Gráfico 2: Reducción de Riesgos de Desastres .....	8
Gráfico 3: Amenazas .....	9
Gráfico 4: Amenazas en la academia .....	10
Gráfico 5: Vulnerabilidad .....	11
Gráfico 6: Flujo de análisis de riesgo .....	13
Gráfico 7: Fases de análisis de riesgo .....	14
Gráfico 8: Modelo de evaluación de riesgos .....	15
Gráfico 9: Análisis de riesgo vs. Evaluación de riesgos .....	16
Gráfico 10: Terminología .....	32
Gráfico 11: Inicio de medición de riesgo. Metodología TRES .....	33
Gráfico 12: Bases de medición de riesgos .....	37
Gráfico 13: Matriz de riesgo .....	38
Gráfico 14: Forma general de actuación .....	39
Gráfico 15: Gráfica de riesgo .....	43
Gráfico 16: Análisis del árbol de falla .....	60
Gráfico 17: Símbolos del árbol causa-consecuencia .....	70
Gráfico 18: Ejemplo de CCT para incendios .....	72
Gráfico 19: Daños por onda de choque de explosión.....	81
Gráfico 20: etapas del análisis costo-beneficio .....	84
Gráfico 21: ALARP .....	93
Gráfico 22: Zonas de riesgo .....	98

## Tablas

Tabla 1: Métodos y fases de análisis de riesgo .....	13
Tabla 2: Cronograma de actividades .....	35
Tabla 3: Matriz de planificación II .....	35
Tabla 4: Matriz de planificación III .....	36
Tabla 5: Construcción del árbol de falla .....	58
Tabla 6: Ejemplo PHA .....	75
Tabla 7: Ejemplo Causa-Consecuencia .....	88
Tabla 8: Diferencia entre riesgo e incertidumbre .....	99

## Ecuaciones

Ecuación 1: Ecuación de riesgo total .....	26
Ecuación 2: Ecuación general de riesgo .....	27
Ecuación 3: Ecuación de riesgos con ponderaciones .....	27
Ecuación 4: Ecuación de normalización de valores .....	28
Ecuación 5: Probabilidad de falla de todo el conjunto .....	64
Ecuación 6: Probabilidad de evento TOP .....	64
Ecuación 7: Fiabilidad .....	64
Ecuación 8: Tasa de fallos .....	65
Ecuación 9: Tiempo medio .....	65
Ecuación 10: Tiempo medio fraccional .....	65
Ecuación 11: Energía liberada .....	80



## Capítulo 1: Generalidades

Los impactos de la naturaleza, como sismos, erupciones volcánicas o inundaciones entre otros, y los causados por la acción del ser humano, como incendios, explosiones y contaminación, afectan a las personas y las comunidades cuando se materializan y producen eventos negativos graves.

Una forma de poder contrarrestar los efectos de estos eventos es la de saber de forma completa, sus características, los daños que podrían causar y de alguna manera la probabilidad de ocurrencia.

La probabilidad puede ser fácilmente calculada con el uso de complejos sistemas tecnológicos de cálculo y probabilidad. Sin embargo, de nuestra experiencia, estamos seguros de que en este proceso influyen también factores inherentes a la ocurrencia de los desastres, especialmente en los aspectos sociales, económicos y sanitarios, que producen efectos catastróficos a las comunidades.

En este manual, se usan algunos sistemas de cálculo de riesgo, sin importar el origen de estos. En general, para estos cálculos, se tienen en cuenta dos factores: Un evento peligroso (que en nuestro medio se conoce como amenaza) y una vulnerabilidad.

También usamos sistemas basados en la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso, relacionada con las consecuencias que este produce.

Finalmente, es necesario también, establecer sistema multicriterio, en los que varios peligros producen consecuencias negativas para las comunidades. Todos estos sistemas se explicarán en el transcurso de este manual.

Dentro de estos sistemas, es necesario aclarar, que existen diversas metodologías de análisis, que serán solamente referidas, sin embargo, el sistema TRES ©, y el sistema de Reducción de Riesgos de la UEB, serán explicadas de manera profunda.

En resumen, esta guía pretende proporcionar las directrices de rápida evaluación usando la observación, el criterio y el uso de parámetros de calificación, con el fin de obtener riesgos caracterizados para el territorio específico de forma fácil y efectiva.

Esta guía – resumen, está diseñada con gráficos, con la finalidad que sirva como kit de herramientas para consulta rápida.

## Gestión de Riesgos

En este sistema, riesgo se define como la incertidumbre de una universidad, para cumplir con sus objetivos. Es decir, los eventos adversos o peligrosos, que impiden el normal desarrollo de las actividades de una universidad, y que tienen repercusiones en la vida de las personas, su ambiente y su propiedad. (OEA, 1991)

La gestión del riesgo es el proceso de identificar, evaluar y minimizar el impacto del riesgo. En otras palabras, es una forma de que las universidades identifiquen los peligros y amenazas potenciales y tomen medidas para **eliminar o reducir las posibilidades de que ocurran**. (EIRD, 2023)

Las universidades, independientemente de su tamaño y visión, deben contar con una sólida **gestión de riesgos**, ella debe identificar, reducir y controlar los peligros que afectan a la universidad de manera proactiva.

Hay todo tipo de riesgos a los que se enfrentan las universidades, como los financieros, los de seguridad, los de reputación, entre otros. Mediante la aplicación de una estrategia de gestión del riesgo, las universidades pueden protegerse de estos peligros y asegurarse de que están preparadas para afrontar cualquier situación.

### Propósito

La gestión del riesgo tiene como objetivo proteger a una universidad de posibles pérdidas o amenazas a su funcionamiento continuo. Esto puede incluir pérdidas financieras, pérdidas en equipos y bienes, daños a la reputación de la universidad o perjuicios a la comunidad universitaria.

**No hay en gestión de riesgos, una solución única para todos.** Cada comunidad, cada universidad es diferente, por ello nuestro sistema se basa en la creación de parámetros para cada una de ellas y debe ser relacionada con los riesgos encontrados

Por eso es tan importante que las universidades cuenten con un plan de gestión del riesgo. Un plan de gestión contiene todos los riesgos evaluados a los que se enfrenta la universidad y las medidas correspondientes para mitigarlos. (SafetyCulture, 2023)

Al adoptar un enfoque proactivo, una universidad puede reducir las posibilidades de que algo salga mal y minimizar los daños si algo, como un

incidente, sucede. La gestión del riesgo es una parte esencial de cualquier universidad, y debe recibir la atención que merece.

Nuestra metodología sugiere cinco tipos de gestión de riesgos:

1. Aceptación de riesgo
2. Transferencia de riesgo
3. Evitar el riesgo
4. Compartir el riesgo
5. Reducir el riesgo

### **1. Aceptación del riesgo**

Las universidades deben decidir aceptar sus riesgos. Aceptar no es dejar que los riesgos afecten a la universidad sin hacer nada, sino más bien relacionarlo con sus políticas y con los gastos que se deben hacer y los esfuerzos realizados en función de una realidad concreta.

### **2. Transferencia de riesgos**

La transferencia del riesgo se produce cuando una universidad traslada los riesgos a otra parte, por ejemplo, mediante un seguro. Por ejemplo, cuando una persona o una universidad contrata un seguro, el riesgo financiero relacionado con un acontecimiento desafortunado se transfiere a la compañía de seguros.

### **3. Evitar el riesgo**

Evitar el riesgo (prevención) es cuando una universidad toma medidas para evitar que se produzca un riesgo concreto, como una lesión, una enfermedad o la muerte. La empresa mitiga estos riesgos no involucrándose en actividades o situaciones de riesgo.

### **4. Reducción de riesgos y prevención de pérdidas**

La prevención y la reducción de pérdidas se producen cuando una universidad adopta medidas o métodos para reducir el impacto de un riesgo concreto que se produce. Combina la aceptación del riesgo, ya que reconoce el riesgo que conlleva, al tiempo que se centra en cómo reducir y contener la pérdida de la propagación.

### **5. Compartir el riesgo**

El riesgo compartido es cuando una universidad distribuye el riesgo a todo el equipo. Este método retira la carga de los sucesos problemáticos a un

departamento y la comparte con otros, de modo que los que pueden ayudar y prestar apoyo a ese problema puedan ayudar y controlar esos riesgos.

## ¿Cuáles son los principios de la gestión de riesgos?

La gestión del riesgo consiste en identificar, evaluar y controlar los riesgos de una universidad. El objetivo es proteger los activos de la universidad, incluidos su personal, sus bienes y sus beneficios.

Hay cinco principios clave de la gestión de riesgos: identificación de riesgos, análisis de riesgos, control de riesgos, financiación de riesgos y gestión de siniestros. Veamos cada una de ellas con más detalle.

- **Identificación de riesgos:** El proceso de identificación de los riesgos potenciales para una universidad, tiene como producto, construir escenarios de riesgo
- **Análisis y evaluación de riesgos:** Se trata de medir la probabilidad y el impacto de los riesgos identificados y ese resultado, compararlo con un estándar.
- **Control de riesgos:** Implica tomar medidas para minimizar (mitigar) o eliminar (prevenir) el impacto de los riesgos potenciales.
- **Financiación del riesgo:** Es el proceso de asignación de recursos financieros para cubrir los costes asociados a los riesgos potenciales.
- **Gestión de siniestros:** Es el proceso de tramitación de las reclamaciones que puedan surgir como consecuencia de un riesgo. También tiene que ver con la asistencia de las personas que acuden a emergencias o desastres.

## Procesos de gestión de riesgo

La gestión de riesgos es una parte importante de cualquier universidad, y debe tomarse en serio. La aplicación de una gestión de riesgos adecuada puede ayudar a mantener la seguridad de su universidad. Con estos cuatro pasos, las universidades pueden protegerse de posibles daños y pérdidas.

### 1. Identificar los riesgos

El primer paso en la gestión de riesgos es identificar los riesgos a los que se enfrenta su universidad. Esto puede hacerse mediante una evaluación de riesgos, que consiste en revisar todos los posibles riesgos que podrían afectar a su empresa y registrarlos en un plan de gestión de riesgos.



## **2. Evaluar los riesgos**

La segunda etapa consiste en evaluar los riesgos identificados. Esto significa evaluar la probabilidad de que se produzca un riesgo y el daño que podría causar si se produjera.

Se trata de una parte esencial, ya que la evaluación permite averiguar la conexión entre el riesgo y los diferentes factores que intervienen en la universidad.

## **3. Tratar y gestionar el riesgo**

El tercer paso consiste en tratar los riesgos evaluados. Esto significa tomar medidas para reducir o eliminar los riesgos en la medida de lo posible. El proceso se realiza asignando a los expertos en sus campos el riesgo que pueden tratar y gestionar.

## **4. Revisión y seguimiento**

La cuarta y última etapa consiste en revisar y supervisar los riesgos que se han identificado y tratado. Esto implica el seguimiento del progreso del proceso de gestión del riesgo y la garantía de que todos los pasos se están siguiendo correctamente. Este paso también ayuda a garantizar que la mitigación de riesgos en vigor sigue siendo eficaz.

## **3. Ejemplos y aplicaciones de la gestión del riesgo**

Hay una serie de prácticas de gestión de riesgos que una universidad puede utilizar, dependiendo de su tamaño y necesidades específicas. Algunos ejemplos estándar son:

### **Riesgos de cumplimiento**

Las empresas deben vigilar regularmente su cumplimiento. Esto significa comprobar todos sus procesos, procedimientos y tecnologías actuales, y asegurarse de que se mantienen actualizados. Un sistema de gestión del riesgo puede ayudar a ello.

### **Riesgos de seguridad**

La gestión del riesgo también puede aplicarse mejor a los riesgos de seguridad dentro de la empresa. De este modo, se puede prevenir de antemano cualquier lesión o peligro.



### **Riesgo para la seguridad de la información**

Los datos sensibles de las universidades deben ser cuidados permanentemente. cada vez más personas encuentran formas de hackear el sistema de una empresa para robar sus datos cibernéticos. Gracias a la gestión del riesgo, las empresas pueden planificar cuidadosamente cómo mejorar sus redes de información y ciberseguridad.

Otra forma de perder información es mantener sistemas de back-up, que debe ser permanentemente controlado de manera que no se pierda por el efecto de desastres.

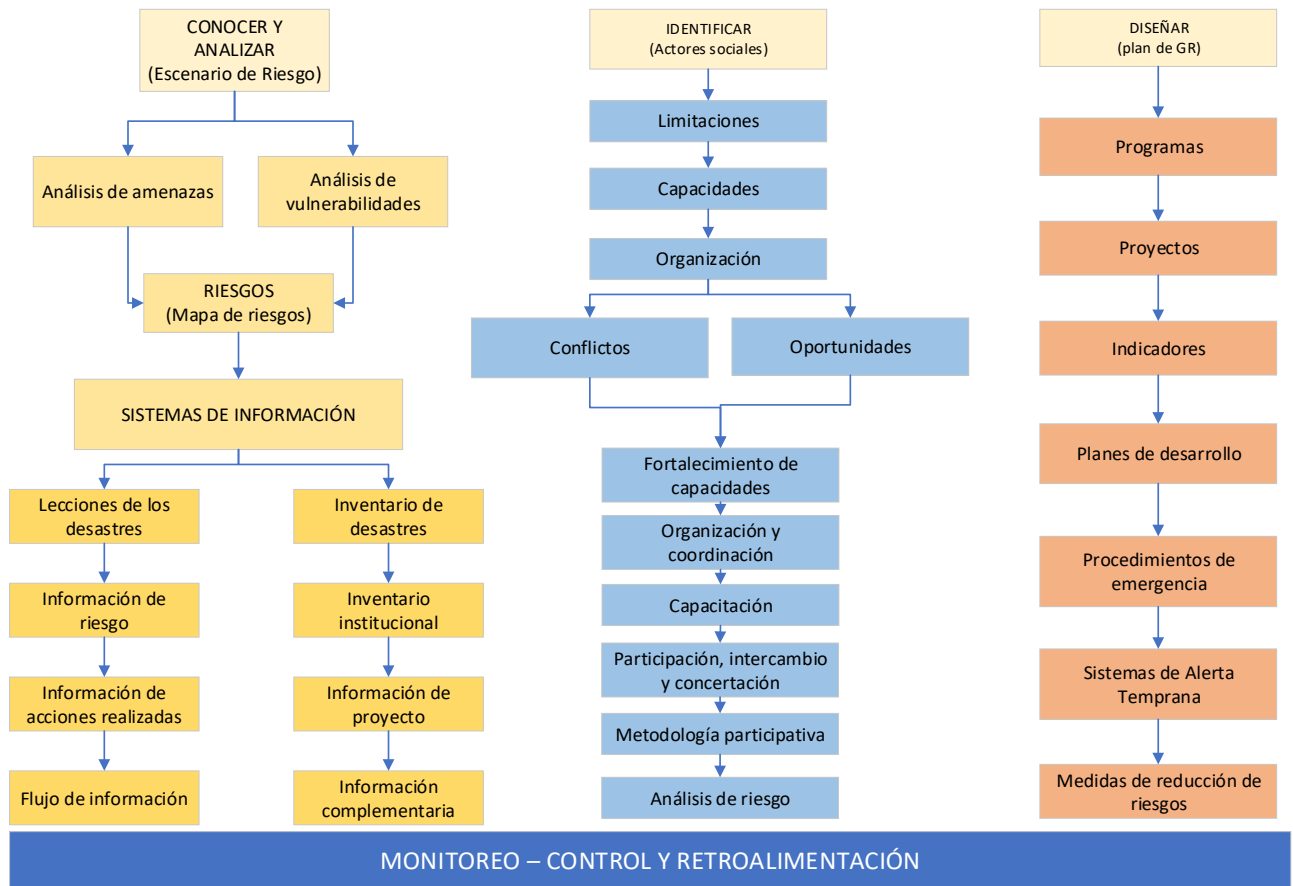
### **Herramientas de gestión de riesgo**

Algunas herramientas de gestión de riesgo en nuestra metodología son

- **Herramientas de calidad: DAFO** – Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas o DAFO ayuda a identificar los riesgos mediante la evaluación de cada área de la empresa. **Principio de Pareto**: determinar las causas de los eventos y sus consecuencias, **Diagrama de control de Shewart**; controlar los patrones de seguridad, **diagrama de Ishikawa**; conocerlas causas de los eventos
- **Análisis de la causa raíz**: Es un método para identificar la fuente principal de un problema o riesgo y encontrar una solución para resolverlo. En nuestro sistema usamos CCT
- **Registro de riesgos**: Un registro de riesgos es útil para identificar los riesgos potenciales de un proyecto u universidad, lo que puede ser útil para evitar cualquier problema potencial que pueda arruinar los resultados previstos.
- **Matriz de probabilidad e impacto**: Una matriz de probabilidad e impacto es una forma de priorizar los riesgos. Es importante priorizar el riesgo porque no se quiere perder el tiempo persiguiendo un riesgo pequeño y agotar los recursos.
- **Lluvia de ideas**: Esta herramienta permite evaluar cualquier idea que pueda ayudar a resolver cualquier problema que se produzca dentro de la empresa

El proceso de gestión de riesgos puede resumirse en la siguiente forma:

Gráfico 1: Proceso general de reducción de riesgos



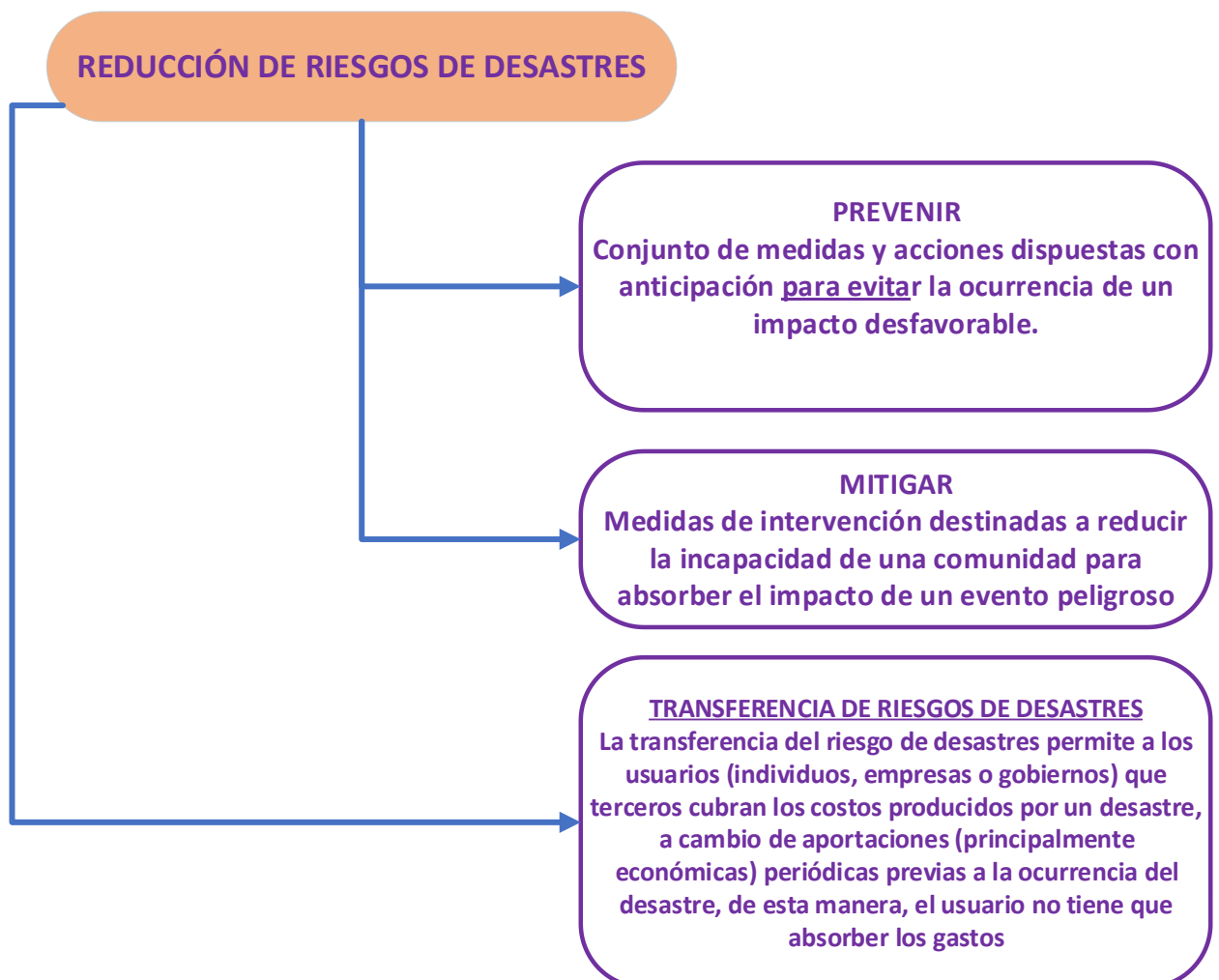
FUENTE: (UNGRD, 2023)

ELABORADO: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

## Reducción de riesgos de desastres

Es un proceso que busca modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes y evitar nuevo riesgo en el territorio a través de “medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera” (UNGRD, 2023)

Gráfico 2: Reducción de Riesgos de Desastres



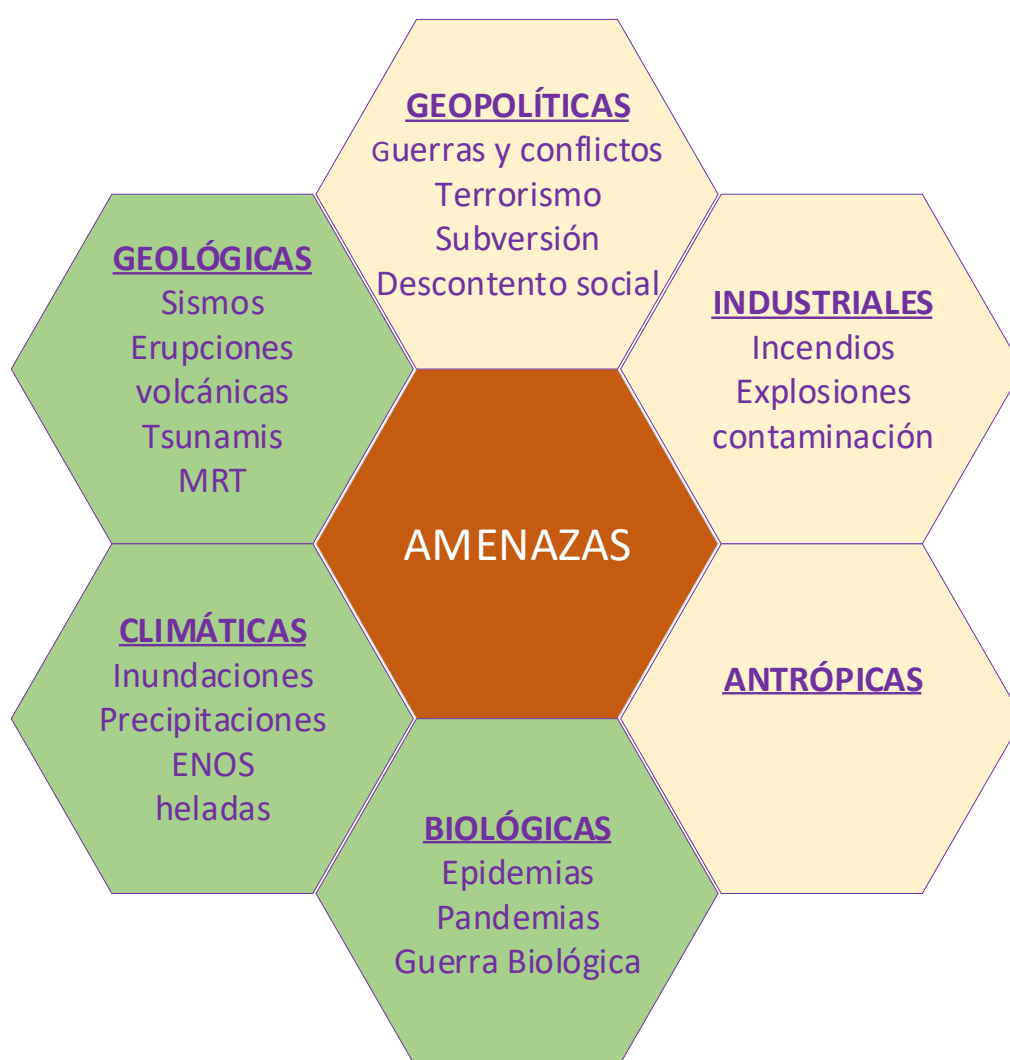
ELABORACION Y FUENTE: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

## Amenaza

**Amenaza, peligro o peligrosidad (Hazard - H).** Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.

Para nuestro sistema, una amenaza es una forma de energía que se ha descontrolado de su fuente

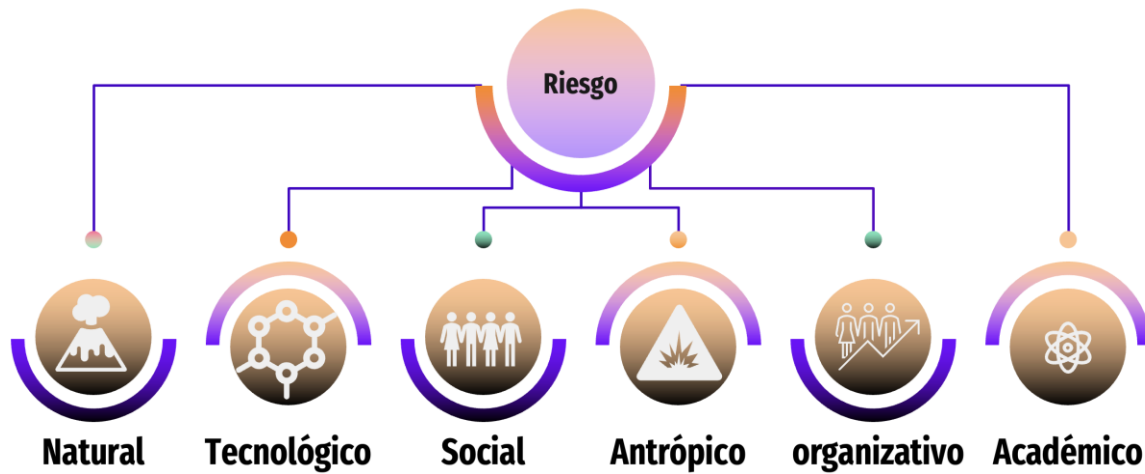
Gráfico 3: Amenazas



ELABORACIÓN Y FUENTE: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

En el campo de la academia, las amenazas se pueden clasificar en:

Gráfico 4: Amenazas en la academia



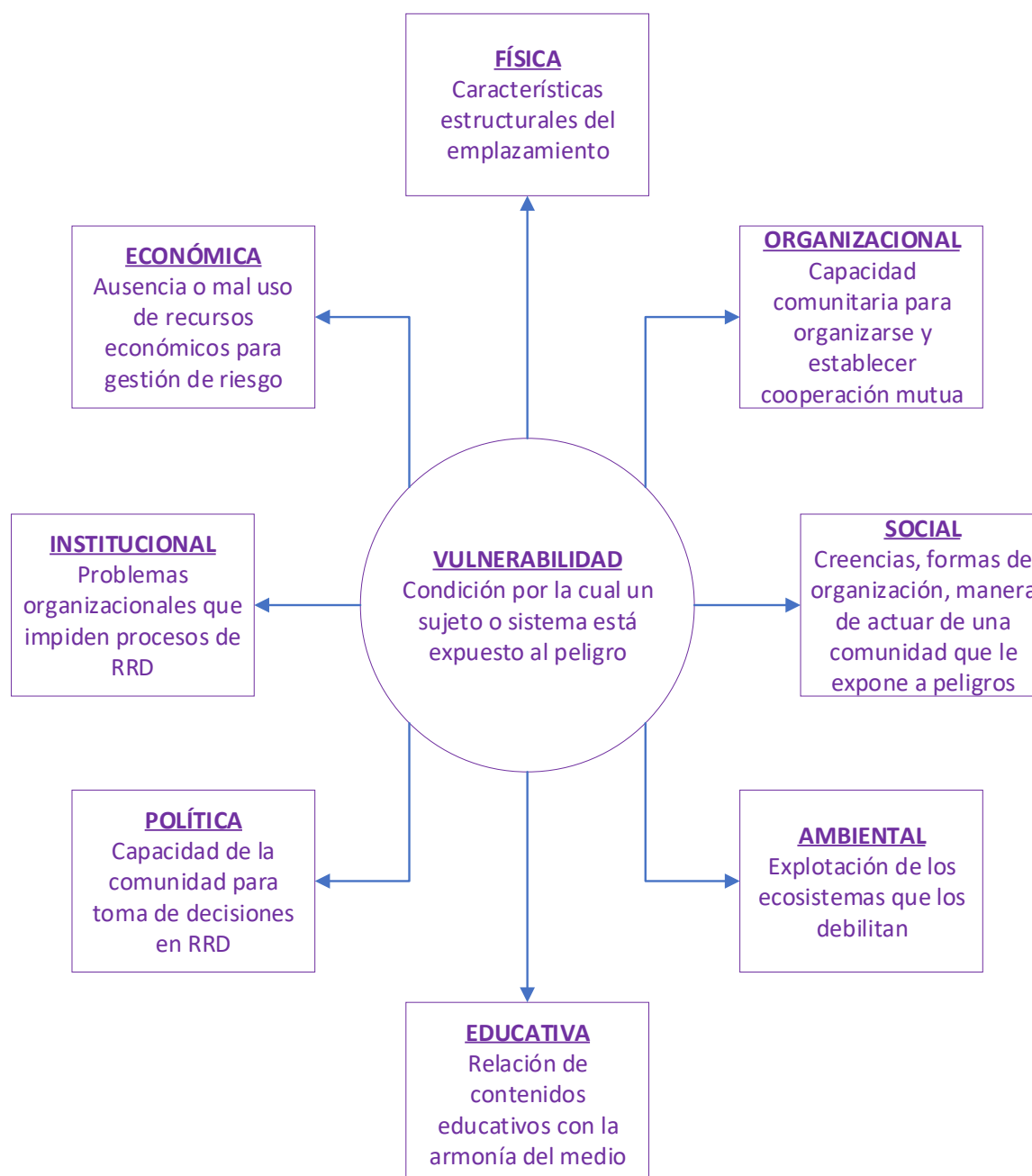
ELABORACIÓN Y FUENTE: PAUL SÁNCHEZ FRANCO (Sánchez Franco, 2023)

Como se puede ver, en lo relacionado con la academia, debemos considerar otras amenazas que no están en percepción de las personas. En este sentido, a más de los tradicionales, los riesgos organizativos y académicos deben ser tomados en cuenta.

## Vulnerabilidad

**Vulnerabilidad (Vulnerability -V).** Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso.

Gráfico 5: Vulnerabilidad



ELABORACIÓN Y FUENTE: (SÁNCHEZ FRANCO, 2023)



## Capítulo 2: Medición de Riesgos

El análisis y evaluación de riesgos, es el proceso que integra los principios y prácticas de salud y seguridad aceptadas en una comunidad en particular.

Se trata de un procedimiento documentado que consiste en identificar los peligros y evaluar los riesgos potenciales antes y durante la ejecución de un trabajo específico.

El fin de esta práctica es el de establecer medidas para reducir los riesgos (prevenir, mitigar, transferir y controlar) las consecuencias negativas de los distintos tipos de riesgos tales como los de origen natural, o causados por el ser humano, así como una combinación de estos. Las consecuencias negativas afectan a los miembros de la comunidad universitaria, su ambiente, los bienes, los riesgos académicos, las pérdidas financieras y de lucro cesante, así como el prestigio.

Para medir los riesgos, existen algunas metodologías que pueden ser usadas en las IES. Estas se resumen en:

Tabla 1: Métodos y fases de análisis de riesgo

FASE	MÉTODO
Idea o proceso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis preliminar de riesgo</li> <li>- Lista de chequeo</li> <li>- Messeri – Dow&amp;Mond</li> <li>- TRES</li> </ul>
Diseño de planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- What if</li> <li>- HazOp</li> <li>- Fault tree</li> <li>- Human reliability</li> <li>- Action &amp; error</li> <li>- TRES</li> </ul>
Construcción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Check list</li> <li>- TRES</li> </ul>
Eventos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis preliminar de riesgo</li> <li>- TRES</li> <li>- AVC</li> </ul>

ELABORACIÓN Y FUENTE: (SIDA, 2023) PAUL SÁNCHEZ FRANCO

Los métodos de análisis de riesgos son **técnicas que se emplean para evaluar los riesgos de un proyecto o un proceso**. Estos métodos ayudan a tomar decisiones que permiten implementar medidas de prevención contra peligros potenciales o reducir su impacto.

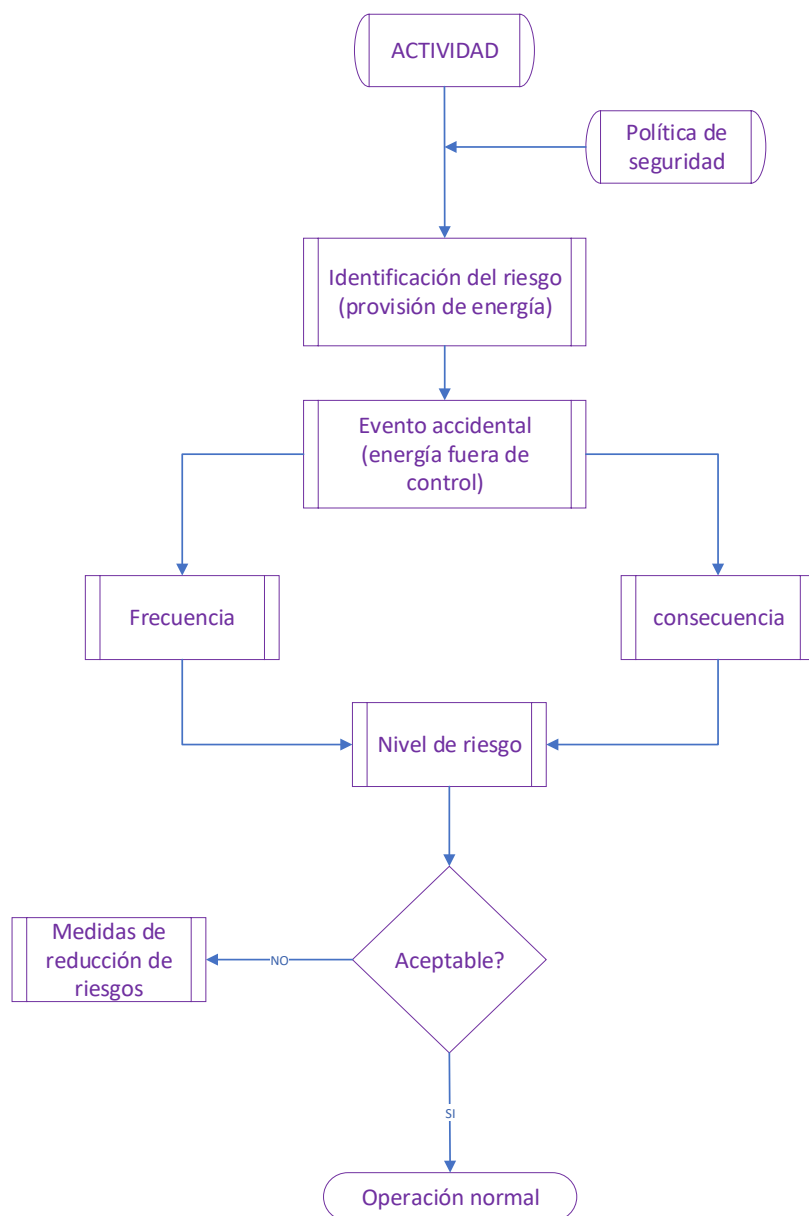


Existen varios métodos de análisis de riesgo. En el libro *Análisis de riesgo*, (Sánchez, P 2022) están explicados varios de ellos. Cada uno tiene una función específica, una profundidad y una forma de usarlo.

En la Tabla 1: Métodos y fases de análisis de riesgo, se puede ver, además, las fases de un proyecto y los mejores métodos de análisis de riesgo.

## Flujo de análisis de riesgo

Gráfico 6: Flujo de análisis de riesgo



FUENTE: (SÁNCHEZ FRANCO, 2023)

Cuando realizamos actividades de medir los riesgos, debemos en general comenzar por determinar el objeto que vamos a evaluar, su actividad y determinar su influencia en la política de riesgos de la universidad.

Una vez hecho esto, se determina el probable riesgo, haciendo e identificando diferentes escenarios de riesgo, su frecuencia de ocurrencia y las consecuencias de su materialización.

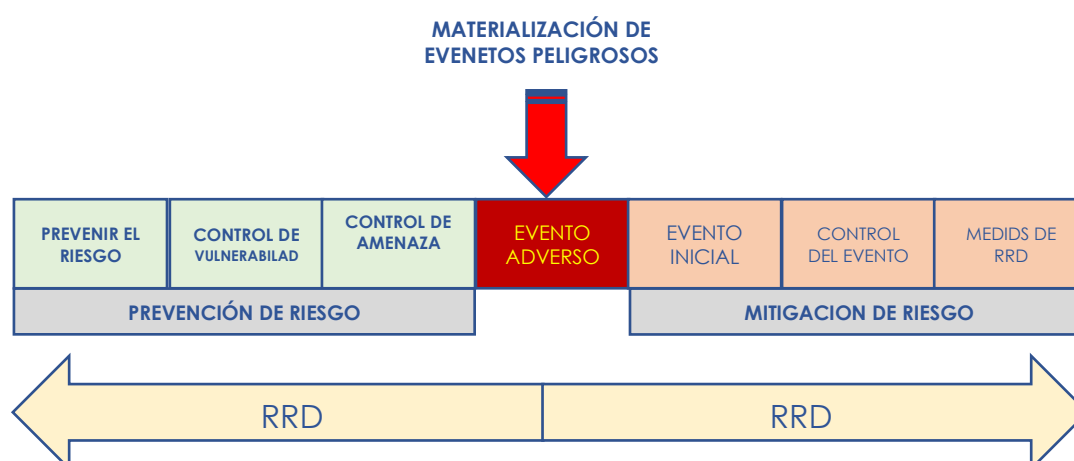
La relación de esos dos factores, nos caracteriza el riesgo, es decir nos da un valor de riesgo que debemos evaluar, es decir comparar con los criterios de aceptación de riesgo de la universidad. Este valor de aceptación, varía por supuesto de acuerdo con las políticas de riesgo de la IES. Y deben ser puesta en común con el CGR<sup>1</sup> de la universidad.

El resultado de esta co-relación puede ser de dos tipos:

- Coincide con los parámetros de aceptación de riesgo de las IES. En cuyo caso se continua con la operación, cumpliendo con el principal rubro de nuestra metodología que es el monitoreo continuo de riesgo.
- No coincide con los parámetros de aceptación de riesgo de las IES, en cuyo caso, se deben instaurar planes de reducción de riesgos y volver a analizarlos de acuerdo con la nueva condición

## Fases del análisis de riesgo

Gráfico 7: Fases de análisis de riesgo

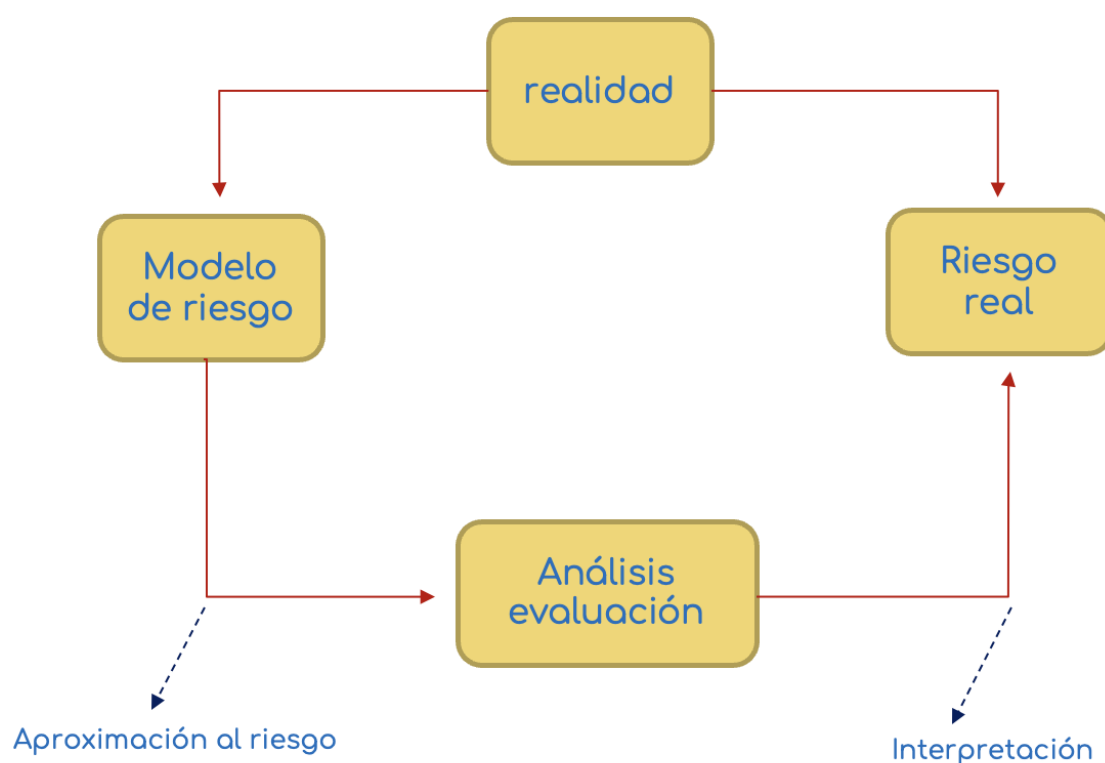


<sup>1</sup> CGR: Comité de Gestión de Riesgo

La evaluación de riesgos y la gestión de la seguridad se consideran el enfoque proactivo de la seguridad y la prevención de la contaminación. El objetivo principal de la evaluación del riesgo puede expresarse de la siguiente manera:

- Promover la comprensión de los peligros por parte de todos los diseñadores / planificadores, operadores y otras personas involucradas en las operaciones de planificación de la planta.
- Promover la integración de todo el personal técnico y operativo
- Promover el diseño de seguridad inherente y optimizado
- Diseñar plantas/comunidades de la manera más segura posible a un costo razonable. Cada objeto es un individuo
- Para apoyar la planificación de emergencias
- Proporcionar antecedentes para las decisiones de seguros
- Determinar el nivel de seguridad de los objetos y compararlo con los criterios de aceptación

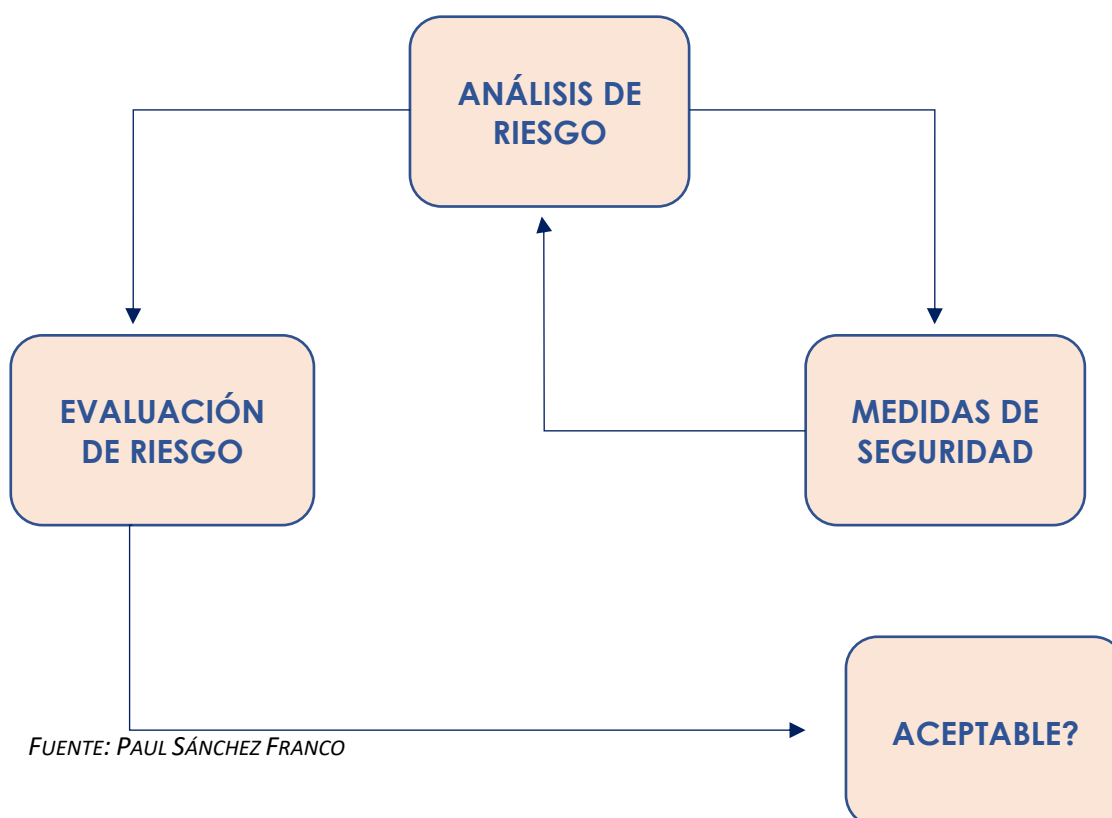
Gráfico 8: Modelo de evaluación de riesgos



FUENTE: (SÁNCHEZ FRANCO, 2023)

El gráfico anterior, muestra un ciclo de análisis de riesgos y su comparación con el riesgo real. Existe confusión entre el análisis de riesgos y la evaluación de riesgos. El siguiente diagrama explica esta “pequeña diferencia”.

Gráfico 9: Análisis de riesgo vs. Evaluación de riesgos



El análisis de riesgo, es una fase importante del análisis. Consiste principalmente en medir los riesgos y obtener de ellos un valor alfanumérico.

La evaluación de riesgos, consiste, según nuestro sistema en comparar el valor alfanumérico y compararlo con una normativa (esta nece generalmente de la vida real). El resultado de esto tiene que darme información sobre criterio de aceptación de riesgo.

### Identificación y evaluación de peligros

La metodología que usamos se denomina TRES (Total Risk Evaluation System), basada en Sweden International Develop Agency, y desarrollada por la UGR de la Universidad Estatal de Bolívar.

La metodología es simple, intuitiva y basada en indicadores de medición. Esta forma de medir riesgos se aplica a todos los sistemas del control de riesgos de las IES.

Con esta metodología básica, el riesgo puede ser identificado, evaluado y clasificado. De esta manera, se pueden construir planes de acción para reducir los riesgos generales y con esto, alentar a las partes interesadas y a la comunidad a aumentar la conciencia del riesgo y la conciencia ambiental, así como las técnicas de reducción de riesgos a nivel local.

El sistema TRES ayuda a las autoridades a responder a las siguientes preguntas:

- ¿Dónde están los objetos de riesgo y los peligros en nuestra comunidad?
- ¿Cómo definimos los peligros?
- ¿Cómo evaluamos los peligros y las zonas de riesgo, frente a los objetos amenazados?
- ¿Cómo clasificamos los objetos de riesgo?

El objetivo es clasificar los riesgos, utilizando dos aspectos principales:

- **La probabilidad** de que se produzca un accidente dentro de un tiempo determinado;
- **Las consecuencias** para las personas, la propiedad y el medio ambiente.

Ambos aspectos están relacionados con una ecuación de riesgo básica de la siguiente manera:

$$R=f(P,C)$$

significa que tanto la probabilidad como la consecuencia dependen una de la otra.

Es bien sabido que la probabilidad y las consecuencias de un accidente específico no pueden calcularse con precisión y exactitud, sin embargo, se puede estimar con suficiente precisión para proporcionar la base para hacer planes de acción y reducción de riesgos.

Cuando el riesgo es suficientemente conocido, y se reconocen las causas y efectos, el daño de un accidente se reduce.

Los beneficios de este método son:

- Seguridad para la salud y la seguridad de los empleados y de los que viven cerca de la fábrica;
- La reducción de los daños al medio ambiente y a la propiedad;
- Aumento de las buenas relaciones entre las autoridades y el público en general.
- Las buenas relaciones con los clientes mantienen una entrega confiable y una producción ininterrumpida

Un tema muy importante que no se tiene en cuenta es la imagen de la empresa de ore de la industria. Los peligros relacionados con la empresa, el probable daño extenso y la comunidad cercana pueden poner en peligro este importante riesgo.

Luego, el sistema y el uso de sistemas de información geográfica que pueden mapear los riesgos que existen en una comunidad específica, pero especialmente las circunstancias específicas que pueden llevar a que los peligros se vuelvan peligrosos. El informe final contendrá un inventario de objetos de riesgo, peligros y objetos amenazados.

Esta metodología ayuda a los técnicos a calcular con buena precisión, la probabilidad y ocurrencia de un accidente, para:

- Personas
- Medio ambiente
- Propiedad

Con esta metodología, los grupos de interés y técnicos tienen una herramienta útil para la toma de decisiones, porque muestra:

- donde pueden ocurrir accidentes graves (objetos en riesgo)
- cuáles pueden ser las amenazas (peligros)
- Qué tipos de accidentes pueden ocurrir (tipos de riesgo)
- Quién y qué podría verse afectado y dónde (objetos amenazados)
- De qué manera y en qué escala se podrían causar daños (consecuencias)
- La probabilidad (muy, muy aproximada) del accidente
- Qué factores aumentan el riesgo.
- Una forma de presentar los resultados del análisis.

Dado que este método es bastante intuitivo, no se necesitan criterios de detalle, solo la experiencia del equipo técnico. Sin embargo, para lograr con él, se requieren los siguientes parámetros:

- Una comprensión completa de algunas definiciones comunes como: objeto de riesgo, objetos amenazados de riesgo, consecuencias, etc.
- Buena organización y planificación
- Disposición para comprometer dinero y tiempo
- Una forma de recopilar datos para obtener información. esto requiere una muy buena interacción con la comunidad, las autoridades y la industria.
- El apoyo de los órganos políticos y administrativos de la Comunidad.

Con el fin de cumplir con la metodología, el Instituto de Ciencias del Reino Unido, señala los principales lugares a considerar.

**Riesgos Tipo A: Industria química y petroquímica. química, aplicación y almacenamiento a granel**

1. Agroquímicos, incluidos los locales comerciales utilizados por los contratistas de pulverización para llenar, almacenar o lavar tanques para aplicaciones agroquímicas
2. Fabricación, formulación o almacenamiento a granel de productos químicos
3. Sitios de laboratorio analítico comercial
4. Corrosivos, incluida la formulación o el almacenamiento a granel
5. Instalaciones de limpieza en seco, incluidos los locales de limpieza en seco o el almacenamiento a granel de disolventes de limpieza en seco
6. Fabricación de fertilizantes o almacenamiento a granel
7. Fábricas de gas, incluida la fabricación de gas a partir de materias primas de carbón o petróleo
8. Operaciones de inmersión de ganado o carrera de pulverización
9. Fabricación o formulación de pinturas (excluidas las tiendas minoristas de pintura)
10. Almacenamiento o uso persistente de pesticidas a granel, incluidos céspedes deportivos, huertos, huertos, casas de vidrio o cobertizos de pulverización
11. Control de plagas, incluidos los locales de los operadores comerciales de control de plagas o cualquier autoridad que lleve a cabo el control de plagas cuando se produzca el almacenamiento a granel o la preparación de plaguicidas, incluida la preparación de cebos envenenados o el llenado o lavado de tanques para la aplicación de plaguicidas.

12. Fabricación de plaguicidas (incluidos venenos para animales, insecticidas, fungicidas o herbicidas), incluida la fabricación comercial, mezcla, mezcla o formulación de plaguicidas
13. Industrias petroleras o petroquímicas, incluido un depósito de petróleo, terminal, planta de mezcla o refinería, o instalaciones para la recuperación, reprocesamiento o reciclaje de materiales a base de petróleo, o almacenamiento a granel de petróleo o productos petroquímicos por encima o por debajo del suelo.
14. Fabricación farmacéutica, incluida la fabricación comercial, mezcla, mezcla o formulación de productos farmacéuticos, incluidos los remedios para animales o la fabricación de drogas ilícitas con potencial de vertidos ambientales
15. Impresión, incluida la impresión comercial con tipo de metal, tintas, tintes o disolventes (excepto fotocopiadoras)
16. Transformación de la piel o la lana, incluida una curtiduría o una tala, o cualquier otra instalación comercial para el curado, secado, limpieza o acabado de pieles o almacenamiento de lana o productos de cuero
17. Tanques de almacenamiento o tambores para combustible, productos químicos o desechos líquidos
18. Tratamiento o conservación de la madera, incluido el uso comercial de productos químicos durante la molienda o el almacenamiento a granel de la madera tratada en el exterior

### **Riesgos Tipo B: Obras eléctricas y electrónicas, generación y transmisión de energía**

1. Baterías, incluido el montaje comercial, el desmontaje, la fabricación o el reciclaje de baterías (pero excluyendo las tiendas minoristas de baterías)
2. Transformadores eléctricos, incluida la fabricación, reparación o eliminación de transformadores eléctricos u otros equipos eléctricos pesados
3. Productos electrónicos, incluida la fabricación comercial, el reacondicionamiento o el reciclado de ordenadores, televisores y otros dispositivos electrónicos
4. Centrales eléctricas, subestaciones o patios de conmutación



**Riesgos Tipo C: Producción, almacenamiento y uso de explosivos y ordenanzas**

1. Producción, mantenimiento, desmontaje, eliminación, almacenamiento a granel o reenvasado de explosivos u ordenanzas
2. Palos de armas o rangos de rifles, incluidos los clubes de arcilla que usan municiones de plomo al aire libre
3. Zonas de entrenamiento reservadas exclusiva o principalmente para la detonación de municiones explosivas

**Riesgos Tipo D: Extracción, refinación y reprocesamiento, almacenamiento y utilización de metales**

1. Granallado abrasivo, incluida la limpieza por granallado abrasivo (excluida la limpieza realizada en cabinas totalmente cerradas) o la eliminación de material de granallado abrasivo
2. Operaciones de fundición, incluida la producción comercial de productos metálicos mediante la inyección o el vertido de metal fundido en moldes
3. Tratamiento o recubrimiento de metales, incluido el pulido, anodizado, galvanizado, devanado, galvanoplastia o tratamiento térmico o acabado con compuestos de cianuro
4. Transformación de metales, incluida la extracción química o física de metales, incluida la fundición, refinación, fusión o refinación de metales
5. Talleres de ingeniería con fabricación de metales

**Riesgos tipo E: Extracción, refinación y reprocesamiento, almacenamiento y uso de minerales**

1. Fabricación o eliminación de productos de amianto, incluidos los sitios con edificios que contienen productos de amianto que se sabe que están en condiciones deterioradas
2. Fabricación de asfalto o betún o almacenamiento a granel (excluidos los sitios de un solo uso utilizados por una planta móvil de asfalto)
3. Fabricación de cemento o cal utilizando un horno que incluye el almacenamiento de residuos del proceso de fabricación
4. Fabricación comercial de hormigón o almacenamiento comercial de cemento

5. Astilleros de carbón o coque
6. Exploración o producción de hidrocarburos, incluidos los sitios de pozos o los pozos de bengalas
7. Industrias mineras (excluida la extracción de grava), incluida la exposición de caras o la liberación de aguas subterráneas que contengan contaminantes peligrosos, o el almacenamiento de desechos peligrosos, incluidos vertederos de desechos o relaves de presas

### **Riesgos Tipo F: Repostaje, servicio y reparación de vehículos**

1. Aeropuertos que incluyen almacenamiento de combustible, talleres, áreas de lavado o áreas de práctica de incendios
2. Fabricantes, reparadores o recicladores de forros de frenos
3. Talleres de reacondicionamiento de motores
4. Talleres de vehículos de motor
5. Actividades portuarias, incluidos los diques secos o las instalaciones de mantenimiento de buques marinos
6. Patios ferroviarios, incluidos los patios de manipulación de mercancías, los talleres, las instalaciones de reabastecimiento de combustible o las áreas de mantenimiento
7. Estaciones de servicio, incluidas las instalaciones de repostaje minoristas o comerciales
8. Depósitos o astilleros de transporte, incluidas las zonas utilizadas para el repostaje o el almacenamiento a granel de sustancias peligrosas

### **Riesgos tipo G: Cementerios y reciclaje, tratamiento y eliminación de residuos**

1. Cementerios
2. Reacondicionamiento o reciclaje de tambores o tanques
3. Vertederos
4. Depósitos de chatarra, incluidos los astilleros de desmontaje, demolición o chatarra de automóviles
5. Eliminación de desechos a la tierra (excepto cuando se han utilizado biosólidos como acondicionadores del suelo)
6. Reciclaje de residuos o tratamiento de residuos o aguas residuales

**Riesgos Tipo H:** Cualquier tierra que haya sido objeto de la migración de sustancias peligrosas de tierras adyacentes en cantidad suficiente para que pueda ser un riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

**Riesgos Tipo I:** Cualquier otra tierra que haya sido objeto de la liberación intencional o accidental de una sustancia peligrosa en cantidad suficiente para que pueda ser un riesgo para la salud humana o el medio ambiente

Según el PNUMA, debemos tener en cuenta los siguientes elementos:

- Qué peligros se incluirán
- ¿Existe algún objeto amenazado en particular que deba ser objeto de un trato especial?
- ¿Qué área geográfica debe cubrirse?
- ¿Cuáles son los criterios para evaluar el riesgo?
- Cuando el análisis debe estar terminado
- Cómo se deben informar los resultados
- ¿Cómo es el tráfico en la escena?
- ¿Hay algún plan de emergencia?
- ¿Hay estadísticas sobre incidentes y accidentes?
- ¿Cuántos trabajadores hay en el sitio industrial?
- ¿Cuántos habitantes hay cerca de las instalaciones industriales?
- Qué tan graves pueden ser las consecuencias dentro y fuera del sitio
- ¿Cómo puede ser el impacto ambiental? ¿Por cuánto tiempo?
- ¿Cuánto cuesta la atención médica de las personas lesionadas?
- ¿Cuánto cuesta la limpieza ambiental?
- ¿Cuál puede ser el costo de los daños a la propiedad?
- ¿Qué tan rápido podría desarrollarse el accidente? ¿Por cuánto tiempo podría ir?
- ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia?
- ¿Qué muestra la experiencia pasada?
- ¿Cuál es la prioridad?
- ¿Qué tan graves son las consecuencias para la vida, el medio ambiente y la propiedad?

- ¿Cuáles son los recursos para hacer frente al accidente?



## **CAPÍTULO 3**

### **METODO GENERAL DE MEDIR RIESGOS**

## Sistema general

Este Sistema, propone una serie de índices de riesgo, que incrementan o decrementan las vulnerabilidades y en consecuencia, aumentan o disminuyen riesgos. Se basa principalmente en un sistema multicriterio.

En este sistema, riesgo se define como la incertidumbre en la consecución de un objetivo. Es decir los eventos adversos o peligrosos, que impiden el normal desarrollo de las actividades de una comunidad, y que tienen repercusiones en la vida de las personas, su ambiente y su propiedad.

## Cuantificando el riesgo con índices de probabilidad

### Resumen

El estudio propone un índice de riesgo que considere la probabilidad de ocurrencia en una ecuación de la forma:

$$R_T = \sum_{i=1, j=1, k=1}^n w_i A_i x(\alpha_{ijk}) w_i C_{ij}$$

Ecuación 1: Ecuación de riesgo total

Donde:

- w<sub>i</sub>**      Peso dado a una amenaza en particular de un set de amenazas (gatilladoras o secundarias)
- A**        Amenaza principal
- (ijk)**     parámetro que brinda el índice de probabilidad
- w<sub>i</sub>**      peso asignado a la principal vulnerabilidad de entre un set de vulnerabilidades presentes en el caso específico
- C**        Consecuencias de la materialización de la amenaza



### La ecuación del riesgo

El impacto de las fuerzas de la naturaleza o como producto de las acciones industriales producen emergencias que pudieran ser catastróficas. La probabilidad de ocurrencia de estos eventos, pueden ser fácilmente calculados usando conceptos de probabilidad, sin embargo, los riesgos se consideran desde cada campo de la ciencia, por ejemplo, riesgos económicos, riesgos sociales, riesgos físicos etc. para ello, se ha determinado una forma de calcular los riesgos mediante la materialización de una amenaza con las consecuencias subsiguientes.

$$R = f(A, V)$$

Ecuación 2: Ecuación general de riesgo

Dependiendo del tipo de riesgo, la metodología puede determinar cualitativa y hasta cuantitativamente los parámetros que llevan a las consecuencias de un evento. Sin embargo, esta puede ser vista desde diferentes puntos de vista, por ejemplo, los economistas desde el campo financiero, el ingeniero desde la parte estructural etc.

Hay que notar que una amenaza puede ser múltiple, por ejemplo, un sismo puede ocasionar deslizamientos, inundaciones repentinas, derrame de materiales peligrosos etc, entonces, en qué forma tributa el sismo, el deslizamiento, las inundaciones o los materiales peligrosos a las consecuencias?, y qué consecuencia es más grave de acuerdo a las amenazas?. Para contestar estas preguntas, usaremos la siguiente ecuación.

$$R = \sum_{i=1, j=1}^n w_i A_i \times w_j C_j$$

Ecuación 3: Ecuación de riesgos con ponderaciones

$A_i$  representa las diferentes amenazas y  $C_j$  las diferentes vulnerabilidades.  $w_i$  es el peso dado a la amenaza de cierto tipo, con respecto a **todas las amenazas consideradas**, mientras que  $w_j$  es el peso y la importancia de una vulnerabilidad seleccionada de todos los factores de vulnerabilidad considerada. Cada uno de los pesos considerados,  $w_i$  y  $w_j$  deberán, sumados, medir 1.0, es decir los valores deberán ser normalizados.

## Evaluación

### Evaluación Multicriterio

En esta metodología, se usan rangos numéricos de 1 a 4, en concordancia con los sistemas de alerta del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgo del Ecuador, que clasifica las alertas de un desastre en cuatro categorías, usando calificaciones simples.

Una combinación lineal ponderada de los factores puede realizarse si se aplican pesos a cada factor. El resultado arroja un índice de vulnerabilidad.

$$V = w_i V_i \quad \left| \begin{array}{l} V = \text{vulnerabilidad} \\ w_i = \text{peso del factor } i \\ V_i = \text{criterio de calificación de la seguridad del factor } i \end{array} \right.$$

La importancia de esta metodología radica en que cada criterio muestra qué parámetro está contribuyendo a la vulnerabilidad en la comunidad estudiada.

### Criterio para la puntuación

Para operar los criterios de evaluación los factores deben ser “normalizados” antes de combinarlos en la ecuación de riesgo. La forma de hacerlo es como sigue:

$$X_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$

Ecuación 4: Ecuación de normalización de valores

Por ejemplo, en la escala 4x4, si el factor alcanza un valor de 2,8 se opera de la siguiente manera.

$$X_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$

$$X_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$

$$X_i = \frac{(2,8 - 1)}{(4 - 1)}$$



$$X_i = \frac{(1.8)}{(3)} = 0.6$$

### **criterio de pesos**

La asignación de pesos para cada criterio, se realiza usando una escala de 5 pasos que se distribuyen así:

1. bajo
2. medio
3. alto
4. muy alto (intolerable)

La escala de importancia se obtiene dividiendo cada factor obtenido por el factor más alto considerado. Esto provee un valor normalizado para cada factor en relación con el factor más importante, que recibe el valor de 1.

Para obtener un peso de entre los valores obtenidos, se suman todos los resultados y se dividen con los resultados normalizados

### **Ejemplo**

*En una zona de inundación, los residentes cercanos a la ribera del río están en peligro de acuerdo con el análisis de riesgo conducido por las autoridades. Los parámetros de un factor en particular fueron establecidos en la matriz 4 x 4, con los pesos relativos de la siguiente forma:*

- |                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| • Sustento de la vida           | 3   |
| • Refuerzo estructural          | 2,5 |
| • Hospitales accesibles         | 3,2 |
| • Asistencia a los ancianos     | 2,7 |
| • Acceso a los centros de ayuda | 2,0 |

Paso 1: normalización de los factores usando la ecuación:

$$N_i = \frac{R_i - R_{min}}{R_{max} - R_{min}}$$

- Sustento de la vida 0,6
- Refuerzo estructural 0,5
- Hospitales accesibles 0,7
- Asistencia a los ancianos 0,6
- Acceso a los centros de ayuda 0,3

### Paso 2: Asignación de pesos

- Sustento de la vida 3
- Refuerzo estructural 4
- Hospitales accesibles 3,
- Asistencia a los ancianos 2
- Acceso a los centros de ayuda 2

Estos pesos se dividen por el valor más alto de la matriz 4 x 4

- Sustento de la vida  $3/4 = 0,8$
- Refuerzo estructural  $2,5/4 = 0,6$
- Hospitales accesibles  $3,2/4 = 0,8$
- Asistencia a los ancianos  $2,7/4 = 0,7$
- Acceso a los centros de ayuda  $2,0/4 = 0,5$

La suma de estos valores es 3,4, en consecuencia sus pesos específicos son:

- Sustento de la vida  $0,8/3,4 = 0,24$
- Refuerzo estructural  $0,6/3,4 = 0,18$
- Hospitales accesibles  $0,8/3,4 = 0,24$
- Asistencia a los ancianos  $0,7/3,4 = 0,18$
- Acceso a los centros de ayuda  $0,5/3,4 = 0,15$

### La suma de esos valores debe resultar en 1,0

Los resultados muestran que los valores de sustento a la vida y hospitales accesibles son los más riesgosos y deben ser controlados.

Paso 2: Establecer los pesos ponderados lineales en el problema anterior

- Sustento de la vida  $3/4 = 0,8$
- Refuerzo estructural  $2,5/4 = 0,6$
- Hospitales accesibles  $3,2/4 = 0,8$
- Asistencia a los ancianos  $2,7/4 = 0,7$
- Acceso a los centros de ayuda  $2,0/4 = 0,5$

Establecemos el índice de probabilidad:

$$(0,8) \times 0,24 + (0,6) \times 0,18 + (0,8) \times 0,24 + (0,7) \times 0,18 + (0,5) \times 0,15 = 0,7$$

El índice de probabilidad es entonces, 0,7

Usando la fórmula de riesgo, suponiendo que la Amenaza es 2,83 y la Vulnerabilidad 3,4, entonces:

$$R = \sum_{i=1, j=1}^n w_i A_i \times w_j C_j$$

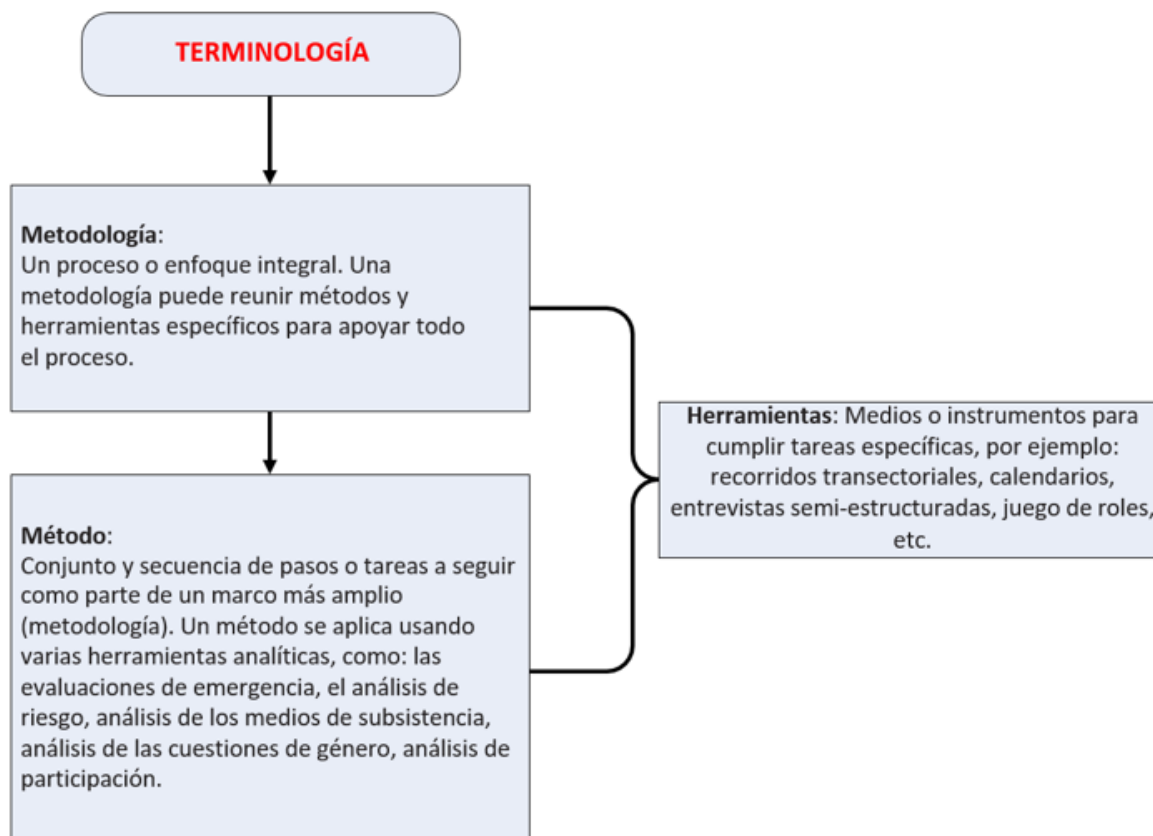
$$R = 0,61 \times (0,7)(0,8)$$

$$R = 0,61 \times 0,6 = 0,4$$

**El riesgo entonces, es del 40%**

## Sistema TRES Operacionalización

Gráfico 10: Terminología



FUENTE: (SÁNCHEZ FRANCO, 2023)

## Inicio de la metodología

Gráfico 11: Inicio de medición de riesgo. Metodología TRES



FUENTE Y ELABORACIÓN: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

### **Elementos necesarios**

- Elaborar términos de referencia que contemplen las funciones y responsabilidades (asignación de tareas) de los involucrados.
- Obtener un compromiso claro de los involucrados.
- Definir las necesidades y recursos (tiempo, recursos, canales de comunicación, etc).
- Anticipar posibles problemas que pueden plantearse y a su vez, encontrar soluciones.
- Preparar una agenda y su presupuesto.
- Decidir cuándo y cómo se cambian o se detiene la actividad

### **Definición de objetivos**

Al fijar los objetivos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El **objetivo general** debe responder a la pregunta: ¿Por qué se desea hacer una evaluación?
- Los objetivos específicos y los resultados esperados deben ser medibles, alcanzables realistas, oportunos y enmarcados en tiempo. Deben ser claros y entendibles para todos.
- Para la formulación de objetivos se debe realizar procesos participativos
- Una vez formulados, deben ser conocidos y aprobados por todo el equipo de evaluación
- Determine con anticipación la profundidad y parámetros de medición, contestando a las siguientes preguntas:
  - ¿dónde se implementará el análisis?
  - ¿Cuántas instituciones se tomarán en cuenta?
  - ¿De qué recursos (humanos y financieros) se cuenta?

### **Matriz de planificación I**

Una vez definidos los términos de referencia y los objetivos, es necesario hacer una programación de las acciones de análisis de riesgo, tomando en cuenta las fases de:

- Preparación
- Ejecución
- Análisis
- Planificación
- Acción

Tabla 2: Cronograma de actividades

FASE	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	RECURSOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE
PREPARACIÓN													
EJECUCIÓN													
ANÁLISIS													
PLANIFICACIÓN													
ACCIÓN													

Tabla 3: Matriz de planificación II

Matriz de planificación II

IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DE EVALUACIÓN	SELECCIÓN DEL PERSONAL	RECURSOS	HERRAMIENTAS
Qué comunidad es vulnerable	Se debe decidir la conformación del equipo evaluador, en base a criterios como:	Se deben establecer sistemas administrativos y financieros.	El equipo se enfoca en procesos de investigación diseñadas para identificar y comprender los tipos de vulnerabilidad, entre ellos:
Hay accesibilidad	<ul style="list-style-type: none"><li>• Representación</li><li>• Aptitudes</li><li>• Nivel de educación</li><li>• Facilidad de comunicación</li><li>• Conocimiento de idioma extranjero</li><li>• Aptitudes para dinámica de grupos</li><li>• Organización</li><li>• Aptitudes de mediación</li><li>• Integridad</li></ul>	Se deben preparar presupuestos. Se deben hacer informes.	<ul style="list-style-type: none"><li>- fuentes secundarias</li><li>- muestreo</li><li>- cuestionarios</li><li>- entrevistas</li><li>- calendario histórico</li><li>- mapeo</li><li>- análisis de redes sociales</li><li>- observación directa</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>compromiso</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>árbol de problemas</li> <li>HazOp</li> <li>HIE</li> <li>TRES</li> </ul>
Hay interés en hacer la evaluación	1.	Se debe considerar que los mayores recursos son: tiempo, energía y aptitud	
La comunidad está organizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar un oficial de seguridad</li> </ul>	Sistema de comunicación y monitoreo	

### Matriz de planificación III

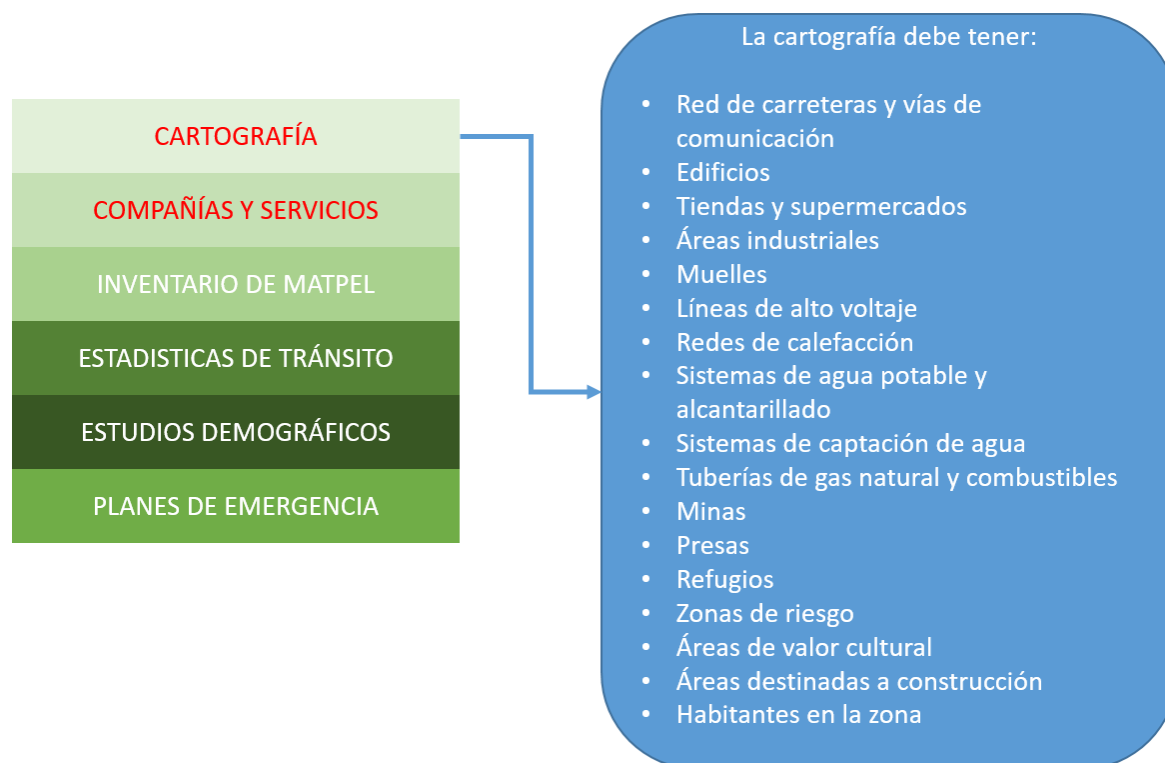
Tabla 4: Matriz de planificación III

<p><b>Organizar un ensayo de campo, le permitirá comprobar lo que se requiera para hacer una evaluación de riesgos. Esto incluye distribución de las tareas</b></p> <p><b>Las siguientes son las actividades que podríamos realizar:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ¿quién será el líder de grupo?</li> <li>2. ¿quién hará los contactos necesarios?</li> <li>3. ¿Quién organiza la certificación de la capacitación?</li> <li>4. ¿Cuál es el mejor momento de realizar la evaluación?</li> <li>5. ¿Cuál es la agenda?</li> <li>6. ¿Qué materiales se requieren?</li> <li>7. ¿Cuánto durará el ejercicio?</li> <li>8. ¿Quién supervisará el ejercicio?</li> <li>9. ¿Cómo nos movilizaremos?</li> <li>10. ¿Cómo nos comunicaremos?</li> <li>11. ¿Cómo mantendremos la seguridad?</li> <li>12. ¿Qué mapa usaremos?</li> <li>13. Plan de emergencias</li> </ol>	<b>EJEMPLO</b>	
	<b>08h00</b>	<b>Reunión del grupo</b>
	09h00	Inicio de actividades
	09h15	Presentación del equipo Explicación del ejercicio Acuerdos finales
	10h00	Análisis de riesgo
	14h00	Finalización del ejercicio
	14h30	Agradecimiento



## Bases y antecedentes para la evaluación

Gráfico 12: Bases de medición de riesgos



ELABORACIÓN Y FUENTE: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

Decida con el grupo de trabajo, los objetivos del análisis y el nivel de detalle requerido. Un mapa de análisis, en el que geográficamente se muestren los datos relevantes se hace necesario.

**Solo los objetos de riesgo relevantes deben ser incluidos**

## Matriz de riesgo

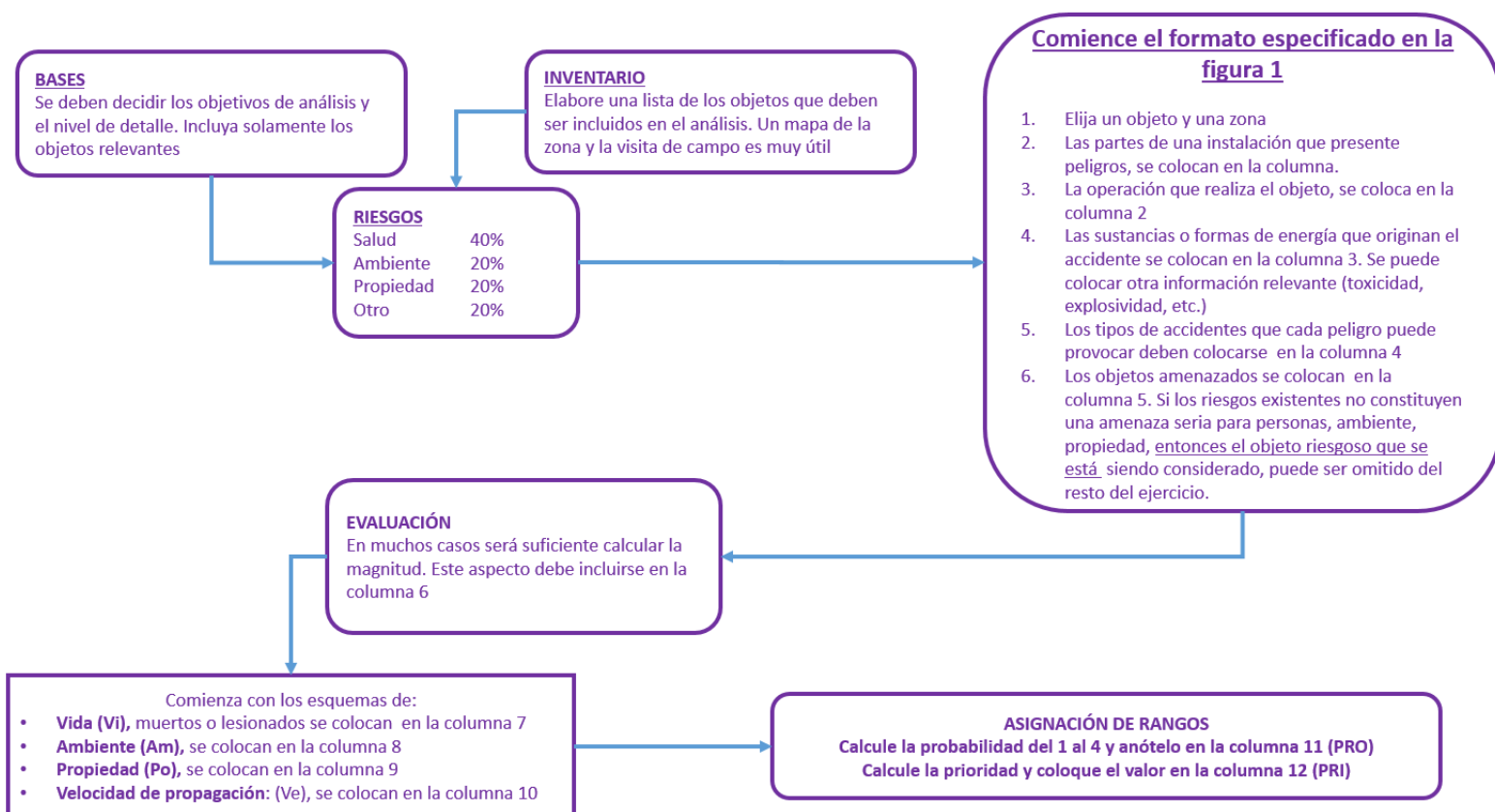
Gráfico 13: Matriz de riesgo

OBJETO (1)	OPERACIÓN (2)	PELIGRO (3)	TIPO DE RIESGO (4)	OBJETO AMENAZADO (5)	CONSECUENCIA (6)	GRAVEDAD						OBSERVACIÓN (13)
						VI (7)	AM (8)	PRO (9)	VE (10)	PR (11)	PR (12)	

1	Cuál es el objeto analizado
2	El Objeto analizado ¿qué tipo de operación lleva a cabo?
3	Los peligros del objeto analizado se representan por cantidad, inflamabilidad, toxicidad radioactividad etc.
4	Cuando los objetos analizados se combinan con otros, ¿Qué peligros generan?
5	Los objetos amenazados, ¿Dónde se encuentran?, ¿cuán vulnerables son?
6	Los objetos amenazados, ¿en qué forma son afectados?, ¿cuáles rían las consecuencias?, ¿cuáles son los escenarios de riesgo?
7	Qué daños serios pueden afectar a las personas dentro de los escenarios de riesgo
8	¿cómo se puede ver afectado el ambiente?
9	¿cuáles son las pérdidas económicas?
10	¿cómo influye la velocidad de desarrollo del evento?
11	¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia del evento peligroso?
12	¿Cuál es la prioridad de intervención del evento peligroso?

## Forma de actuación

Gráfico 14: Forma general de actuación



**Indicadores de gravedad****Para la salud**

VALOR	CLASE	DEFINICIÓN
1	Poco Importante (riesgo bajo)	Lesiones menores, malestares ligeros
2	Limitada (riesgo medio)	Heridas graves, complicaciones serias
3	Grave (riesgo alto)	Hasta 5 fallecidos, hasta 20 heridos, hasta 50 evacuados
4	Muy grave (riesgo intolerable)	Más de 5 fallecidos, más de 20 heridos, más de 50 evacuados

**Para el ambiente**

VALOR	CLASE	DEFINICIÓN
1	Poco Importante (riesgo bajo)	Contaminación simple, efectos contenidos
2	Limitada (riesgo medio)	Contaminación simple, efectos dispersos
3	Grave (riesgo alto)	Contaminación compleja, efectos contenidos
4	Muy grave (riesgo intolerable)	Contaminación compleja, efectos dispersos

**Para la propiedad**

VALOR	CLASE	DEFINICIÓN
1	Poco Importante (riesgo bajo)	Pérdidas de hasta 100.000 USD
2	Limitada (riesgo medio)	Pérdidas de 100.000 a 500.000 USD
3	Grave (riesgo alto)	Pérdidas de 500.000 a 1.000.000 USD
4	Muy grave (riesgo intolerable)	Pérdidas de más de 1.000.000 USD

### Velocidad de desarrollo del evento

VALOR	CLASE	DEFINICIÓN
1	Poco Importante (riesgo bajo)	SAT conocido, funcionando y practicado
2	Limitada (riesgo medio)	SAT conocido y funcionando
3	Grave (riesgo alto)	SAT Conocido
4	Muy grave (riesgo intolerable)	Sin SAT

### Probabilidad

VALOR	CLASE	FRECUENCIA
1	Poco Importante (riesgo bajo)	Una vez a más de diez años
2	Limitada (riesgo medio)	Una vez cada diez años
3	Grave (riesgo alto)	Una vez cada cinco años
4	Muy grave (riesgo intolerable)	Más de una vez por año

### Prioridad

El cálculo de la prioridad se basa en el peso o ponderación que damos a cada parámetro de medición de la siguiente manera:

Vida	40%
Ambiente	30%
Propiedad	15%
Velocidad del evento	15%

La forma de cálculo es:

Suponiendo que los valores alcanzados durante la medición son:

Vida	4
Ambiente	3
Propiedad	3

Velocidad del evento 2

El cálculo es entonces:

$$Pr = [(4 \times 0.4) + (3 \times 0.3) + (3 \times 0.15) + (2 \times 0.15)]/4$$

$$Pr = (1.6) + (0.9) + (0.45) + (0.3)/4$$

$$Pr = 3.25/4$$

$$Pr = 0,8$$

La prioridad es 80%, que corresponde al valor de **INTOLERABLE**

VALORES					
Prioridad					
	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
		Probabilidad			

VALORES					
Prioridad					
	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
		Probabilidad			

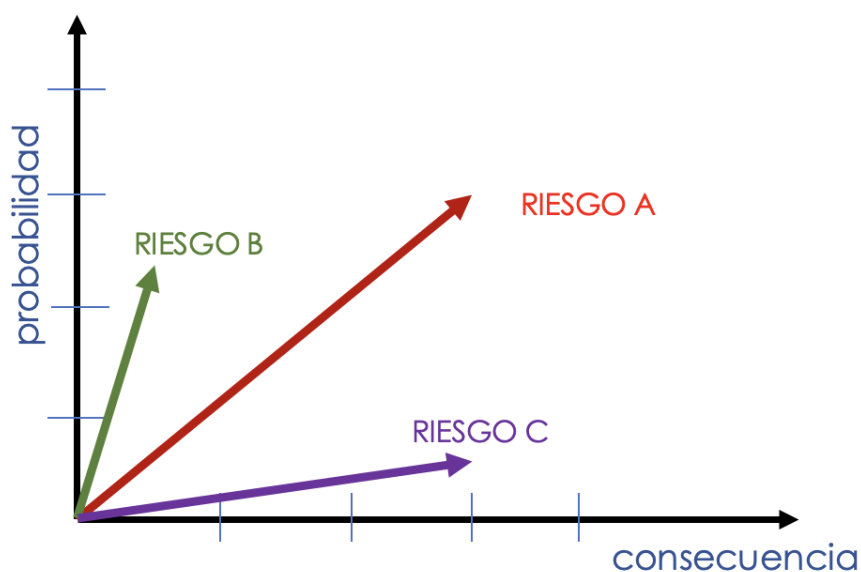
PORCENTAJE					
Prioridad					
	4	10	20	30	40
	3	8	15	23	30
	2	5	10	15	20
	1	3	5	8	10
		1	2	3	4
		Probabilidad			

COLOR	DEFINICIÓN	PORCENTAJE
Rojo	Riesgo muy alto	Más del 40%
Naranja	Riesgo alto	Del 11 al 39%
Amarillo	Riesgo medio	Del 6 al 10%
Blanco	Riesgo bajo	De 0 a 5%

Una forma muy interesante de expresar este riesgo, consiste en graficarlo usando un sistema de coordenadas cartesianas, en las que relacionamos los dos parámetros:

- Probabilidad de ocurrencia
- Consecuencias

Gráfico 15: Gráfica de riesgo



De esta manera, podemos graficar diferentes riesgos y relacionarlos entre ellos. Así los planes de reducción de riesgos se pueden hacer en base a riesgos individuales o riesgos colectivos.

Este sistema puede calcular el riesgo “per se”, pero, también podría **relacionárselo con otros parámetros de calificación** (seguridad de las

personas, ambiente, equipos, seguridad física etc). Para ilustrar esto, lo haremos con seguridad de los equipos de evaluación.

parámetros de seguridad y salud ocupacional. Está compuesto por 25 puntos que deben ser sumados al final del análisis y comparado con la tabla final.

La forma de calificación es:

Si = 1 punto  
 Parcial = 0.5 punto  
 No = 0 puntos

PARÁMETRO	SI	PARCIAL	NO
Posee una política de seguridad de forma escrita, socializada con funcionarios, proveedores, contratistas y otros relacionados			
Cuenta con un programa de seguridad, salud y ambiente			
Cuenta con procedimientos para cumplir con el programa de seguridad, salud y ambiente			
Cuenta con manual de seguridad			
Cuenta con una metodología de evaluación de riesgos			
Cuenta con planos de seguridad			
Cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo			
Cuenta con planes de emergencia en SSO			
Cuenta con brigadas de SSO			
Cuenta con programa de capacitación			
Se han definido los puestos de trabajo			
Cuenta con un sistema de inducción para nuevos trabajadores			
PARÁMETRO	SI	PARCIAL	NO
Se han identificado trabajos peligrosos que pueden conducir a fallo humano			
Se exige programas de seguridad para contratistas			



Los químicos están debidamente señalados			
Se cuenta con MSDS			
Se cuenta con EPP			
Tiene identificada la norma de seguridad y se cumple			
Se realizan periódicamente emisiones y desechos			
Se evalúan las emisiones de desechos			
Se cuenta con planes anuales de emisiones y desechos			
Los trabajadores se involucran en tareas de seguridad y salud			
Se tiene identificados los riesgos por tareas y son conocidas por los trabajadores			
Se evalúan las aptitudes físicas de los trabajadores de acuerdo con el puesto de trabajo			
Cuenta con métodos de elección de EPI de acuerdo con el puesto de trabajo			

La siguiente tabla de evaluación se debe establecer

Valor	Porcentaje
1 a 6	5
7 a 12	10
13 a 19	15
20 a 25	20

## Cálculo de riesgos de ambiente

Emisiones atmosféricas	SI	NO
Las emisiones esperadas tienen sustancias peligrosas		
Las emisiones esperadas tienen sustancias que producen olores desagradables		
La altura de descarga es inferior a la exigida por norma		
La organización no cuenta con tecnologías de manejo de sustancias en la fuente		
Vertidos	SI	NO
Los vertidos esperados contienen sustancias que pueden ser consideradas como peligrosas		
Los vertidos esperados tienen sustancias que producen olores desagradables		
La organización no cuenta con tecnología de manejo de sustancias en la fuente		
Sólidos y lodos	SI	NO
Los Sólidos esperados contienen sustancias que pueden ser consideradas como peligrosas		
Los sólidos esperados tienen sustancias que producen olores desagradables		
La organización no cuenta con tecnología de manejo de sustancias en la fuente		
La organización cuenta con un sistema de tratamiento y transporte de sólidos y lodos		
Ruido	SI	NO
La organización cuenta con máquinas o procesos que produzcan ruido excesivo		
La organización cuenta con tecnología que garanticen el control de ruido en la fuente o sistemas de aislamiento de ruido		

La siguiente es una tabla de medición

Valor	Porcentaje
1 a 6	5
7 a 12	10
13 a 19	15
20 a 25	20

### Cálculo de riesgo

Asignados los valores encontrados, sumamos los porcentajes de cada parámetro.

- |                      |    |
|----------------------|----|
| 1. Riesgos           | W% |
| 2. Ambiente          | X% |
| 3. Seguridad y salud | Y% |
| 4. Otros             | Z% |

$$R_T = \sum w + x + y + z$$

PORCENTAJE	RESULTADO
+ 65	El riesgo es muy elevado y NO DEBE TOLERARSE
31 – 64	El riesgo es alto, deben considerarse medidas de reducción
0 - 30	El riesgo es medio, debe hacerse monitoreo continuo

Ejemplo

OBJETO	OPERACIÓN	PELIGRO (toneladas)	TIPO DE RIESGO	OBJETO AMENAZADO	CONSECUECNIAS	GRAVEDAD						
						VI	AM	PO	VE	PRI	PRO	RIESGO
Area de espuma	Producción de espuma	TDI 50	Derrame	Personal	Envenenamiento	2	2	1	4	2,25	2	2,3
		Poliol 100	Derrame	Personal	Envenenamiento	2	2	1	4	2,25	2	2,3
		Aminas 2	Incendio	personas cerca de la fábrica	Quemaduras	3	1	3	2	2,25	3	1,1
			Cianuro de hidrógeno	personas cerca de la fábrica								
Area de endurecimiento	Endurecimiento	Poliuretano 100	auto ignición	personas cerca de la fábrica	envenenamiento	2	1	4	4	2,75	3	2,8
		Poliuretano 100	Incendio	personas cerca de la fábrica	Problemas respiratorios, neumonía	4	1	4	4	3,25	3	3,3
		poluretano 100	incendio	personal de respuesta	Problemas respiratorios, neumonía	4	1	4	4	3,25	3	3,3
Área de corte	Corte	Poliuretano 100	Incendio	personas cerca de la fábrica	Problemas respiratorios, neumonía	4	1	4	4	3,25	3	3,3
Área de acceso	Transporte	TDI 25	Derrame	conductores/ / personal de respuesta	Problemas respiratorios, neumonía	2	2	1	4	2,25	2	2,3
		Poliol 25	Derrame	conductores/ / personal de respuesta	Problemas respiratorios, neumonía	2	2	1	4	2,25	2	2,3
		Aminas 1	Derrame	conductores/ / personal de respuesta	Problemas respiratorios, neumonía	3	1	3	4	2,75	3	2,8

En el ejemplo propuesto, se ha tomado en cuenta solamente el proceso de gestión de riesgos. El lector podrá completar el ejercicio en lo relacionado a salud y seguridad ocupacional.

PARÁMETRO	SI	PARCIAL	NO
Posee una política de seguridad de forma escrita, socializada con funcionarios, proveedores, contratistas y otros relacionados	1		
Cuenta con un programa de seguridad, salud y ambiente	1		
Cuenta con procedimientos para cumplir con el programa de seguridad, salud y ambiente			0
Cuenta con manual de seguridad			0
Cuenta con una metodología de evaluación de riesgos	1		
Cuenta con planos de seguridad	1		
Cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y correctivo			0
Cuenta con planes de emergencia en SSO			0
Cuenta con brigadas de SSO			0
Cuenta con programa de capacitación	1		
Se han definido los puestos de trabajo	1		
Cuenta con un sistema de inducción para nuevos trabajadores			0
Se han identificado trabajos peligrosos que pueden conducir a fallo humano		0.5	
Se exige programas de seguridad para contratistas			0
Los químicos están debidamente señalados			0
Se cuenta con MSDS			0
Se cuenta con EPP			0

Tiene identificada la norma de seguridad y se cumple		0.5	
Se realizan periódicamente emisiones y desechos			0
Se evalúan las emisiones de desechos			0
Se cuenta con planes anuales de emisiones y desechos			0
Los trabajadores se involucran en tareas de seguridad y salud		0.5	
Se tiene identificados los riesgos por tareas y son conocidas por los trabajadores		0.5	
Se evalúan las aptitudes físicas de los trabajadores de acuerdo al puesto de trabajo		0.5	
Cuenta con métodos de elección de EPI de acuerdo al puesto de trabajo		0.5	
SUBTOTAL	6	3	
TOTAL	9		

Valor	Porcentaje
1 a 6	5
7 a 12	10
13 a 19	15
20 a 25	20

**9: RIESGO MEDIO**

<b>Emisiones atmosféricas</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Las emisiones esperadas tiene sustancias peligrosas	1	
Las emisiones esperadas tienen sustancias que producen olores desagradables	1	
La altura de descarga es inferior a la exigida por norma	1	
La organización no cuenta con tecnologías de manejo de sustancias en la fuente	1	
<b>Vertidos</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Los vertidos esperados contienen sustancias que pueden ser consideradas como peligrosas	1	
Los vertidos esperados tienen sustancias que producen olores desagradables	1	
La organización no cuenta con tecnología de manejo de sustancias en la fuente	1	
<b>Sólidos y lodos</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Los Sólidos esperados contienen sustancias que pueden ser consideradas como peligrosas	1	
Los sólidos esperados tienen sustancias que producen olores desagradables	1	
La organización no cuenta con tecnología de manejo de sustancias en la fuente	1	
La organización cuenta con un sistema de tratamiento y transporte de sólidos y lodos	1	
<b>Ruido</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
La organización cuenta con máquinas o procesos que produzcan ruido excesivo		1
La organización cuenta con tecnología que garanticen el control de ruido en la fuente o sistemas de aislamiento de ruido		1
<b>TOTAL</b>	14	

Valor	Porcentaje
1 a 3	5
4 a 6	10
7 a 9	15
10 a 14	20

### Parámetros medidos

Riesgo total = 4

Seguridad = 2

Ambiente = 4

### Cálculo final

$$R_t = [4(0.5) + 2(0.3) + 4(0.2)]$$

$$R_t = 2 + 0.6 + 0.8$$

$R_t = 3.4$  **riesgo muy alto**





## Capítulo 4: Cálculo de probabilidad en métodos de cuantificación

## Cálculo de probabilidad basado en métodos de cuantificación

### Análisis de árbol de fallas (FTA)

La técnica FTA se introdujo en 1962 en los Laboratorios Bell Telephone, en relación con una evolución de seguridad de los sistemas de lanzamiento para el misil internacional Minuteman. La compañía Boeing mejoró la técnica e introdujo programas informáticos para el TLC cualitativo y cuantitativo. Hoy en día, el análisis del árbol de fallas es una de las técnicas más utilizadas de los estudios de confiabilidad de riesgos.

El análisis del árbol de fallas es uno de los métodos más utilizados en la confiabilidad del sistema y el análisis de probabilidad de fallas. Un árbol de fallas es una representación gráfica de una estructura lógica que representa eventos no deseados ("fallas") y sus causas. La estructura lógica se crea mediante puertas y se representan incidentes no deseados mediante eventos básicos. Los parámetros de confiabilidad se asignan a cada evento básico. Ampliamente utilizado en estudios de confiabilidad del sistema, el análisis de árboles de fallas ofrece la capacidad de enfocarse en un evento de importancia, como un problema de seguridad altamente crítico, y trabajar para minimizar su ocurrencia o consecuencia. La probabilidad de un evento de alto nivel se puede determinar mediante la aplicación de técnicas matemáticas apropiadas. El diagrama de árbol de fallas resultante es una representación gráfica de la cadena de eventos en su sistema o proceso, construida utilizando eventos y configuraciones de puertas lógicas.

Un TLC es un diagrama lógico que muestra las interrelaciones entre un posible evento crítico (accidente) en un sistema y las razones de este evento. Las causas pueden ser condiciones ambientales, errores humanos, eventos normales (eventos que se espera que ocurran durante la ejecución del proyecto) y fallas de componentes específicos.

Un TLC puede ser cualitativo, cuantitativo o ambos, dependiendo de los objetivos del análisis. Los posibles resultados del análisis pueden ser:

- Listado de las posibles combinaciones de factores ambientales, errores humanos, eventos normales y fallas de componentes que pueden resultar en un evento crítico en el sistema.
- La probabilidad de que el evento crítico ocurra durante un intervalo de tiempo especificado

## Construcción de árboles de fallas

El árbol de errores es un modelo gráfico que ilustra los estados de los componentes del sistema (eventos básicos) y las conexiones entre estos eventos básicos y el estado del sistema (evento TOP). Los símbolos gráficos utilizados para ilustrar estas conexiones se denominan "puertas lógicas". La salida de una puerta lógica está determinada por los eventos de entrada.

El diseño gráfico de los símbolos del árbol de fallas depende del estándar que elijamos seguir.

Una identificación de TLC normalmente se lleva a cabo en cinco pasos:

1. Definición de los problemas y las condiciones de contorno
2. Construcción del árbol de fallas
3. Identificación de conjuntos mínimos de corte y/ruta
4. Análisis cualitativo
5. Análisis cuantitativo

Definición del problema y de las condiciones límite

Esta actividad consiste en:

- Definición del evento crítico (el accidente) a analizar
- Definición de las condiciones límite para el análisis

El evento crítico (accidente) a analizar normalmente se denomina evento TOP. Es muy importante que el evento TOP se le dé una definición clara e inequívoca. De lo contrario, el análisis a menudo tendrá un valor limitado. Como ejemplo, la descripción del evento "fuego en la planta" es demasiado general y vaga. La descripción del evento TOP siempre debe dar respuesta a las preguntas qué, dónde y cuándo.

- **Qué:** describe qué tipo de evento crítico (accidente) está ocurriendo
- **Dónde:** describe dónde ocurre el evento crítico
- **Cuándo:** describe cuándo se produce el evento crítico

Una descripción más precisa del evento TOP es así: "incendio en el reactor de oxidación del proceso durante el funcionamiento normal"

Para obtener un análisis consistente, es importante que las condiciones de contorno para el análisis se definan cuidadosamente por las condiciones de contorno que entendemos:

- Los límites físicos del sistema. Significa, qué partes del sistema deben incluirse en el análisis y qué partes no deben incluirse.
- Las condiciones iniciales. ¿Cuál es el estado operativo del sistema cuando se produce el evento TOP? ¿El sistema funciona a plena capacidad/reducida? ¿Qué válvulas están abiertas/cerradas, qué bombas están funcionando, etc.?
- Condiciones de contorno con respecto a las tensiones externas. ¿Qué tipo de tensiones externas deben incluirse en el análisis? Por las tensiones externas de la guerra, el sabotaje de la violencia civil, el terremoto, el tsunami, etc.
- El nivel de resolución. ¿Hasta dónde debemos llegar en detalle para identificar las posibles razones de un estado fallido? Si, por ejemplo, debemos estar satisfechos cuando hemos identificado la razón de ser una falla de la válvula, o si debemos descomponerla aún más en fallas en la carcasa de la válvula, el vástago de la válvula, el actuador, etc. al determinar el nivel de resolución referenciado, debemos recordar que el detalle en el árbol de fallas debe ser comparable a la detallación de la información disponible.

El TLC comienza con el evento TOP. A partir de entonces, debemos tratar cuidadosamente de identificar todos los eventos de falla que son causas inmediatas, necesarias y suficientes que resultan en el evento TOP.

Estas causas están conectadas con el evento TOP que se pone de una manera estructural. Este primer nivel a menudo se conoce como la estructura TOP del árbol de fallas. Las causas de la estructura TOP a menudo se consideran fallas en los módulos principales del sistema o en las funciones principales del sistema. Luego procedemos nivel por nivel, hasta que todos los eventos de falla se hayan desarrollado al nivel de resolución prescrito. El análisis es, en otras palabras, deductivo y se lleva a cabo preguntando repetidamente "¿cuáles son las razones?"

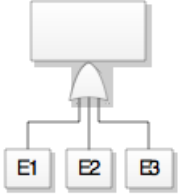
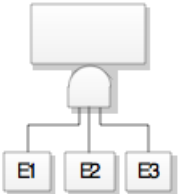



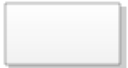

## Reglas para la construcción de análisis de árboles de fallas

Descripción de los eventos de error. Cada uno de los eventos básicos debe describirse cuidadosamente (qué-dónde-cuándo) en un "rectángulo"

- Evaluación de los eventos de falla; principalmente fallos, fallos secundarios y fallos de comando
- Las puertas se completarán. Todas las entradas a una puerta específica deben estar completamente definidas y descritas antes de proceder a la siguiente puerta. El árbol de fallas debe completarse en niveles, y cada nivel debe completarse antes de comenzar el siguiente nivel.

Los eventos básicos normales en un árbol de fallas son fallas primarias que identifican el equipo que es responsable de la falla. Las fallas secundarias y las fallas de comando son eventos intermedios que requieren una investigación adicional para identificar las razones principales.

Tabla 5: Construcción del árbol de falla

	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
PUERTAS LÓGICAS		O puerta La puerta OR indica que el evento de salida A se produce si se produce cualquiera de los eventos E de la entrada
		Y puerta La puerta AND indica que la salida A ocurre SOLO cuando todos los eventos de entrada E ocurren simultáneamente
EVENTOS DE ENTRADA		Evento BASIC Representa una falla o falla básica del equipo que no requiere más desarrollo en fallas o fallas más básicas.
		Evento HOUSE Representa una condición que es TRUE (on) o False (off)
		Evento UNDEVELOPED Representa un evento de error que no se examina más a fondo porque la información no está disponible o porque sus consecuencias son insignificantes
ESTADO		RECTÁNGULO COMMENT Información complementaria
SÍMBOLOS DE TRANSFERENCIA		TRANSFERENCIA FT se desarrolla aún más.

Al evaluar un evento de falla, pensamos:

"¿Puede esta falla ser una falla primaria?" si la respuesta es sí, clasificamos el evento como evento básico "normal". Si la respuesta es no, clasificamos el evento de falla como un evento intermedio (que debe desarrollarse más) o como un evento básico secundario.

El evento básico secundario a menudo se denomina evento no desarrollado y representa un evento de falla que no se examina más a fondo porque la información no está disponible o porque sus consecuencias son insignificantes.

### ***Identificación del conjunto mínimo de cortes y trazados***

Un árbol de fallas proporciona información valiosa sobre posibles combinaciones de eventos de falla que pueden resultar en una falla crítica (accidente) en el sistema. Tal combinación de evento de falla se denomina conjunto de corte.

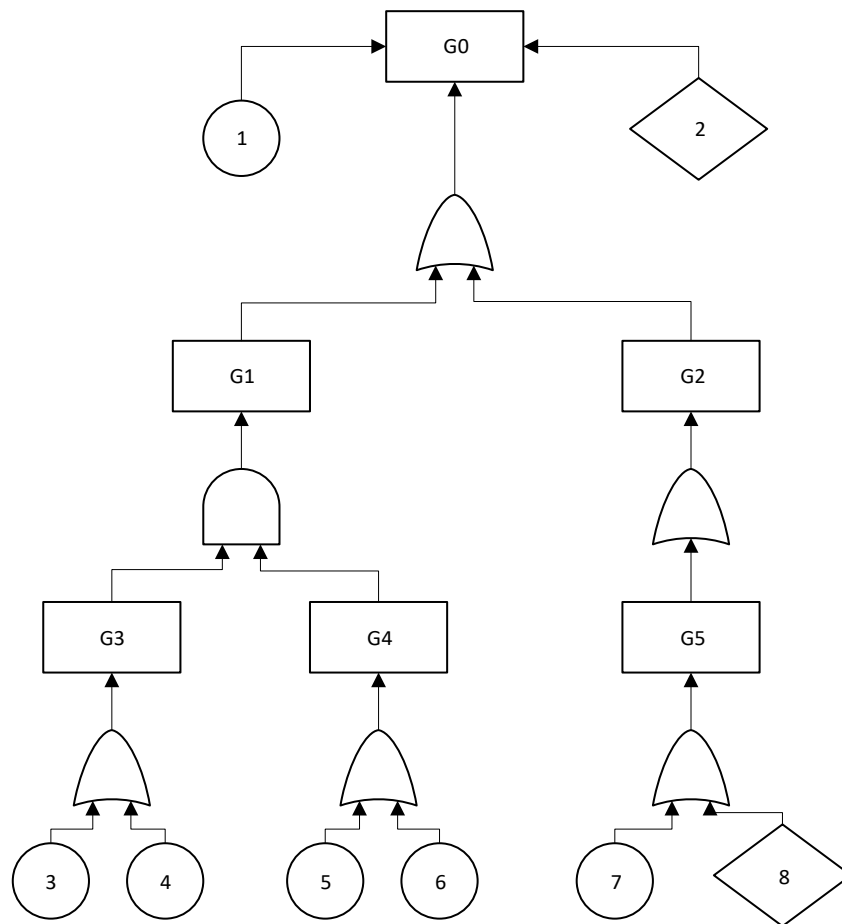
Un conjunto de cortes en un árbol de errores es un conjunto de eventos básicos cuya ocurrencia (simultánea) garantiza que se produzca el evento TOP. Se dice que un conjunto de corte es mínimo si el conjunto no puede reducirse sin perder su estado como conjunto de corte.

Una ruta establecida en un árbol de errores es un conjunto de eventos básicos cuya no ocurrencia (simultáneamente) garantiza que el evento TOP no ocurra. Se dice que un conjunto de rutas es mínimo si el conjunto no se puede reducir sin perder su estado como conjunto de rutas.

Para árboles de fallas pequeños y simples, es factible identificar los conjuntos mínimos de corte y ruta mediante inspección sin ningún procedimiento / algoritmo formal. Para fallas grandes o complejas necesitamos un algoritmo eficiente.

MOCUS (Método para obtener conjuntos de corte) es un algoritmo que se puede utilizar para encontrar los conjuntos mínimos de corte y ruta en un árbol de fallas. La forma más sencilla de explicar el algoritmo es demostrarlo en un ejemplo. En el árbol de fallas, todas las puertas están numeradas de G0 a G6

Gráfico 16: Análisis del árbol de falla



REALIZADO: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

El algoritmo comienza en la puerta G0 directamente debajo del evento TOP. Si se trata de una puerta "OR", cada entrada a la puerta se escribe una debajo de la otra (las entradas pueden ser puertas nuevas)

En nuestro ejemplo, G0 es una puerta "OR" y así comenzamos con:

1  
G1  
2

Si G0 hubiera sido una puerta AND, deberíamos haber escrito las entradas como la primera fila de una matriz. Entonces habríamos comenzado con:

1 G1 2



Dado que cada una de las tres entradas 1, G1 y 2 hará que ocurra el evento TOP, cada una de ellas formará un conjunto de cortes.

La idea básica es reemplazar gradualmente cada puerta con sus entradas (eventos básicos y nuevas puertas) hasta que uno haya pasado por todo el árbol de fallas y se quede solo con el evento básico.

De la misma manera:

Dado que G1 es una puerta OR:	Ya que G2 es una puerta AND
1 G2 G3 2	1 G4, G5 G3 2
Dado que G3 es una puerta OR	Dado que G4 es una puerta OR
1 G4, G5 3 G6 2	1 4, G5 5, G5 3 G6 2
Ya que G5 es una puerta OR	Dado que G6 es una puerta OR
1 4,6 4,7 5,6 5,7 3 G6 2	1 4, 6 4, 7 5, 6 5, 7 3 6 8 2

Luego nos quedamos con los siguientes 9 juegos de corte.

(1), (2), (3), (6), (8), (4,6), (4,7), (5,6), (5,7)

Dado que (6) es un conjunto de corte, (4,6) y (5,6) no son mínimos. Si los dejamos fuera, nos quedamos con la siguiente lista de conjuntos de corte mínimos:

(1), (2), (3), (6), (4,7) y (5,7)

La razón por la que el algoritmo en este caso conduce a un conjunto de corte no mínimo es que el evento básico 6 ocurre en varios lugares del árbol de fallas.

Para encontrar los conjuntos de trayectoria mínima en el árbol de fallas, podemos protagonizar con el llamado árbol de fallas duales. Esto se puede obtener intercambiando todas las puertas AND en el árbol de fallas original con puertas OR y viceversa. Además, dejamos que los eventos en el árbol de fallas duales sean complementos de los eventos correspondientes en el árbol de fallas original. El mismo procedimiento descrito anteriormente aplicado en el árbol de errores duales ahora producirá los conjuntos de rutas mínimos.

Para algunos árboles de fallas relativamente simples, los árboles pueden pasar por el algoritmo MOCUS a mano, para los árboles de fallas más complicados es posible que deba usar software.

### ***Evaluación cualitativa del árbol de fallas***

Podrá llevarse a cabo una evaluación cualitativa del árbol de fallas sobre la base de los conjuntos de corte mínimos. La importancia de un conjunto de corte depende obviamente del número de eventos básicos en el conjunto de corte.

El número de eventos básicos diferentes en un conjunto de corte mínimo se denomina orden del conjunto de corte. Un conjunto de corte de orden uno suele ser más crítico que un conjunto de corte de orden dos, o superior. Cuando tenemos un corte, el conjunto tiene dos eventos básicos, ambos tienen que ocurrir al mismo tiempo para que ocurra el evento TOP.

Otro factor importante es el tipo de eventos básicos en un conjunto de corte mínimo. Podemos clasificar la crítica de los diversos conjuntos de corte de acuerdo con la siguiente clasificación de los eventos básicos:

- Errores humanos
- Fallo activo del equipo
- Fallo pasivo del equipo

Esta clasificación se basa en las suposiciones de que los errores humanos ocurren con más frecuencia que las fallas de equipos activos, y que los

equipos activos son más propensos a fallas que los equipos pasivos (una bomba activa o en funcionamiento está, por ejemplo, más expuesta a fallas que una bomba de reserva pasiva)

Sobre la base de esta clasificación, obtenemos la siguiente clasificación de la criticidad de los conjuntos de corte mínimo de orden dos.

RANGO	EVENTO BÁSICO 1	EVENTO BÁSICO 2
1	Fallo humano	Fallo humano
2	Fallo humano	Fallo activo del equipo
3	Fallo humano	Fallo pasivo del equipo
4	Fallo activo del equipo	Fallo activo del equipo
5	Fallo activo del equipo	Fallo pasivo del equipo
6	Fallo pasivo del equipo	Fallo pasivo del equipo

### **Análisis cuantitativo del árbol de fallas**

Cuando se dispone de datos de fiabilidad para cada uno de los eventos básicos, es posible realizar una evaluación cuantitativa del árbol de fallas.

Por lo general, queremos calcular:

- La probabilidad de que el evento TOP en el árbol de fallas ocurra en un período de tiempo determinado (alternativamente, la frecuencia de las ocurrencias del evento TOP). Las incertidumbres en las estimaciones de la probabilidad del evento TOP también deben estimarse.
- La importancia de la fiabilidad de los diversos eventos básicos (para calcular esta cantidad, tenemos que tener en cuenta tanto la ubicación del evento básico en el árbol de fallas como la probabilidad del evento básico).

Como datos de entrada al análisis necesitamos la probabilidad de la ocurrencia de cada uno de los eventos básicos y secundarios/no desarrollados, es decir.

$q_i = P(\text{evento básico } i \text{ está ocurriendo en el momento } t)$

deje que el conjunto de corte mínimo # j del árbol de fallas sea denotado por  $K_j$ . Cuando los eventos básicos del árbol de fallas son estadísticamente independientes, la probabilidad de falla del conjunto de corte en el momento t es:

$$Q_j = \frac{\pi q_i(t)}{i \in K_j}$$

Ecuación 5: Probabilidad de falla de todo el conjunto

Por lo tanto, da la probabilidad de que todos los eventos básicos en el conjunto de corte mínimo j no estén ocurriendo al mismo tiempo.

### **Probabilidad de evento TOP**

La probabilidad del evento TOP se denota por

$Q_o = P(\text{Evento TOP está ocurriendo en el momento } t)$

Y puede ser calculado por

$$Q_o = 1 - \prod_{j=1}^k (1 - Q_j(t))$$

Ecuación 6: Probabilidad de evento TOP

Al estimar la probabilidad del evento TOP  $Q_o(t)$  por el lado derecho de, obtenemos una probabilidad demasiado alta para  $Q_o(T)$ . Obtenemos así una estimación ligeramente conservadora. El límite superior para  $Q_o(t)$  también es aplicable cuando los eventos básicos en el árbol de fallas dependen positivamente, o los llamados asociados.

### **Importancia de la fiabilidad**

La importancia de la confiabilidad de los diversos eventos básicos en el árbol de fallas puede calcularse mediante la medida de importancia de Vessely-Fussell. Esto es definitivo por

$$I^{VF}(it_0) \approx \frac{1 - \prod_{j=1}^m (1 - Q_j^i(t_0))}{Q_o(t_0)}$$

Ecuación 7: Fiabilidad

La medida de importancia de Vesely-Fussell es una aproximación a la probabilidad de que el evento TOP sea causado por el evento básico No.1 cuando se da que el evento TOP ha ocurrido. Decimos que el evento TOP es causado por el evento básico n0.1 ocurre y el resto de los eventos básicos en el árbol de fallas están en tales estados que el evento TOP ocurre si y solo si ocurre el evento básico no 1.

### **Probabilidades básicas de eventos**

El punto crucial en la evaluación cuantitativa del árbol de fallas son las probabilidades,  $q_i(t)$  de los eventos básicos. La estimación de estas probabilidades depende de la naturaleza de los eventos básicos, ya sean fallos de componentes o eventos más inespecificables. Cuando el evento básico no1 es una falla de componente, su probabilidad  $q_i(t)$  puede estimarse a partir de la tasa de falla del componente y la información sobre las estrategias de prueba y reparación. Veremos aquí tres situaciones diferentes:

- El componente no se repara cuando se produce un error. Si la tasa de fallos del componente se denota por  $\delta$  entonces

$$\delta q_i(t) = 1 - e^{-t}$$

Ecuación 8: Tasa de fallos

- El componente se repara cuando se produce un error. El tiempo medio hasta la falla para el componente se denota por MTTF y el tiempo medio para reparar el componente se denota por MTTR, luego

$$Q_j(t) = \text{MTTR} / \text{MTTR} + \text{MTTF}$$

Ecuación 9: Tiempo medio

- El componente se prueba periódicamente con el intervalo de prueba  $t^*$ , puede producirse un fallo en cualquier parte del intervalo de prueba. Sin embargo, el fallo no se detectará hasta que se realice la prueba o se necesite el componente. Esta es una situación típica para muchos tipos de detectores, sensores de proceso y válvulas de seguridad. La probabilidad  $q_i(t)$  se conoce en esta situación a menudo como el tiempo muerto fraccional medio MFDT

$$q_j(t) \sim \frac{t^2}{2}$$

Ecuación 10: Tiempo medio fraccional

### **Análisis de incertidumbre**

Los parámetros de entrada a una evaluación cuantitativa del árbol de fallas normalmente están sujetos a algún tipo de incertidumbres. Analíticamente, es muy difícil evaluar la incertidumbre de la probabilidad del evento TOP en función de las incertidumbres de los parámetros de entrada. Para resolver el problema, tenemos que aplicar la simulación Monte Carlo. El enfoque más comúnmente adoptado es asumir que las incertidumbres de los parámetros de entrada pueden ser modeladas por una distribución logarítmica. Luego debemos estimar el valor medio  $m$  del parámetro junto con un factor de error  $k$ . el factor de error  $k$  se elige de tal manera que nosotros, con una probabilidad del 90%, asumimos que el verdadero valor del parámetro de entrada se encuentra entre  $m / k$  y  $mk$

Un conjunto de parámetros de entrada ahora se elige al azar, de acuerdo con la distribución lognormal individual, y la probabilidad de evento TOP calculada. Cuando este procedimiento se ha repetido un gran número de veces, obtenemos un conjunto disperso de estimaciones para la probabilidad de evento TOP. A partir de este conjunto, ahora podemos estimar el valor medio y la incertidumbre (desviación estándar) de la probabilidad de evento superior. También podemos mostrar la dispersión gráficamente, por ejemplo como un histograma.

### **Ventajas y limitaciones**

Un FT correctamente construido proporciona una buena ilustración de las diversas combinaciones de fallas del equipo y otros eventos que pueden conducir a un evento crítico específico (accidente) en un sistema. El árbol de fallas es fácil de explicar a los ingenieros sin experiencia previa en el análisis de árboles de fallas.

El TLC es uno de los más utilizados como técnica en el análisis de riesgos y confiabilidad. Está bien documentado y es fácil de usar.

Una ventaja de FTA es que el análisis se ve obligado a comprender las posibilidades de falla del sistema, a un nivel detallado. Por lo tanto, muchas debilidades del sistema pueden remediarse y corregirse durante la construcción del TLC.

Un TLC es una imagen estática de las combinaciones de fallas y eventos que implican que ocurra el evento TOP. Por lo tanto, el TLC no es una técnica adecuada para analizar sistemas dinámicos como los sistemas de misión por fases del sistema de conmutación y los sistemas sometidos a un mantenimiento complejo.

## **Análisis de consecuencias de causa CCA**

### **Introducción**

CCA fue introducido en 1970 por Dan Nielsen en la Comisión Danesa de Energía Atómica (RISÖ). El CCA combina la "visión de futuro", inductiva del TLC con las características de pensamiento inverso y deductivas del análisis de árboles.

El resultado del análisis es un diagrama causa-consecuencia que muestra las posibles secuencias de eventos después de un evento crítico especificado en un sistema. El evento crítico e iniciador puede ser una falla técnica o algún error humano. En el desarrollo de las secuencias de eventos. Se tienen en cuenta los efectos de las posibles barreras y funciones de seguridad, que están diseñadas para prevenir la ocurrencia del evento crítico o reducir la consecuencia de este evento. La ECP puede reemplazar al TLC y se ha utilizado en varios análisis de riesgo y confiabilidad.

El CCA puede ser cuantitativo o cualitativo, o ambos, dependiendo de los objetivos del análisis.

### **Procedimiento**

El CCA se suele llevar a cabo en seis pasos:

- Identificación de un evento iniciador relevante (que puede dar lugar a consecuencias no deseadas)
- Identificación de las barreras y funciones de seguridad que están diseñadas para prevenir la ocurrencia del evento iniciador, o para reducir las consecuencias de este evento.
- Construcciones del diagrama de causa consecuencia
- Descripción de las secuencias de sucesos de accidente resultantes
- Cálculo de probabilidades/frecuencias para las consecuencias identificadas
- Recopilación y presentación de los resultados del análisis

Cada uno de esos pasos se describe a continuación.

### **Identificación del evento iniciador**

La selección del evento iniciador relevante es muy importante para el análisis. El evento iniciador puede ser una falla técnica o un error humano. Para ser de interés para un análisis posterior, el evento iniciador debe dar lugar a una serie de secuencias de consecuencias.

El evento iniciador normalmente se identifica y anticipa como un posible evento crítico que ya se encuentra en la fase de diseño. Esto significa que se han introducido barreras y funciones de seguridad para hacer frente al evento.

El análisis normalmente definirá eventos iniciadores ligeramente diferentes para un análisis. Para un análisis de seguridad de un reactor de oxidación (por ejemplo), un análisis puede elegir "pérdida de agua de enfriamiento en el reactor" como un evento iniciador relevante. Otro análisis puede (por ejemplo) elegir "Ruptura de tuberías de agua de enfriamiento" como un evento iniciador relevante.

### **Identificación de barreras y funciones de seguridad**

Las funciones de seguridad (barreras, sistemas de seguridad, procedimientos, acciones del operador, etc.) que responden al evento iniciador pueden considerarse como la defensa del sistema contra la ocurrencia del evento iniciador. Las funciones de seguridad generalmente incluyen:

- Sistemas de seguridad que responden automáticamente al evento iniciador
- Alarmas que alertan al operador cuando se produce el evento iniciador
- Procedimientos del operador después de la alarma
- Barreras de los métodos de contención que están destinados a limitar los efectos del evento iniciador

El análisis debe identificar todas las barreras y funciones de seguridad que impactan en las consecuencias de un inicio incluso, en la secuencia en que se supone que están activadas.

Para el evento iniciador "pérdida de agua de refrigeración en el reactor", pueden ser pertinentes las siguientes funciones de seguridad:

- La alarma de alta temperatura en el reactor alerta al operador a la temperatura  $T_1$



- El operador restablece el agua de refrigeración del reactor
- Los sistemas de apagado automático detienen la reacción a la temperatura  $T_2$

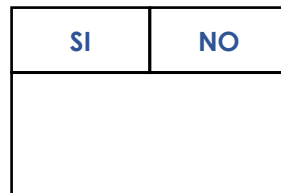
### **Construcción del diagrama de causa consecuencia**

El diagrama CCA muestra el desarrollo cronológico de los estados/eventos, comenzando con el evento iniciador y procediendo a través del éxito y/o fracaso de las funciones de seguridad que responden al evento iniciador. Las consecuencias son eventos claramente definidos que resultan del evento iniciador.

El diagrama comienza comiendo la parte inferior de la página por el símbolo para iniciar el evento.

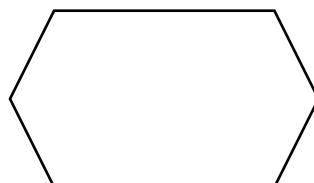


El diagrama ramifica en cada función de seguridad, ilustrado por el símbolo de barrera para la función de seguridad. Dentro del símbolo de barrera, la función de seguridad se formula como una pregunta

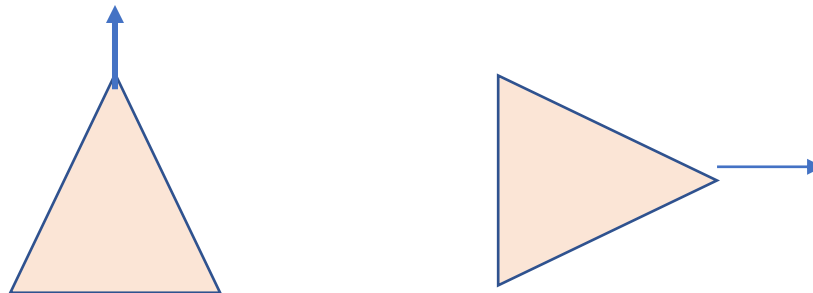


Obtener un diagrama sistemático en el que la función de seguridad se formula como una pregunta. Para obtener un diagrama sistemático que sea fácil de leer, las preguntas deben formularse de tal manera que se obtenga el resultado más crítico cuando la pregunta es respondida por Sí.

La salida de un símbolo de barrera puede conducir a otro símbolo de barrera. El desarrollo continúa hasta las consecuencias resultantes, ilustradas por el símbolo de consecuencia.

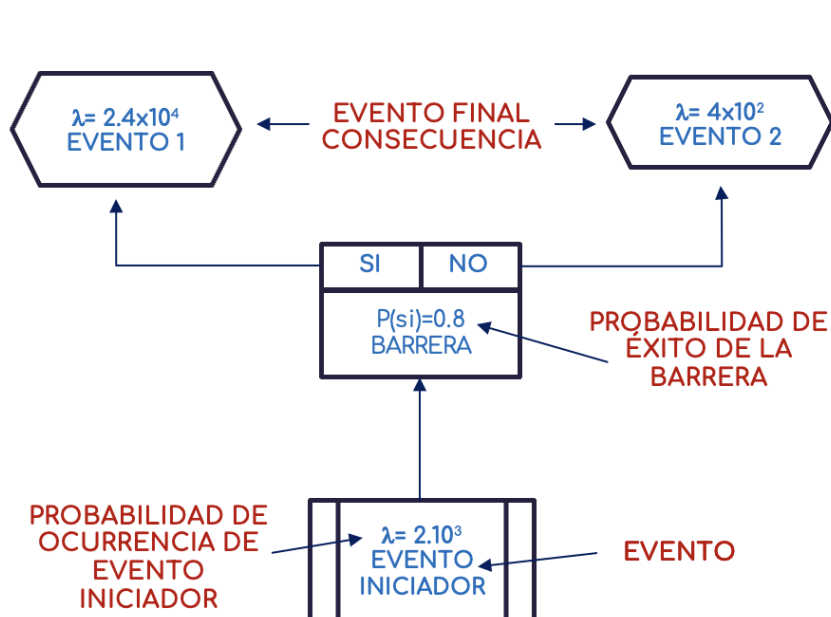


Si el diagrama es demasiado grande para ser dibujado en una sola página, es posible aislar ramas y dibujarlas en una página diferente. Las diferentes páginas están vinculadas entre sí por símbolos de transferencia específicos.



La salida de dos o más símbolos diferentes puede en algunos casos ser idéntica. Estas salidas se combinan a partir de una sola entrada a un símbolo de barrera de nivel superior. Esta es la principal diferencia entre un diagrama de causa consecuencia y un árbol de eventos. En el árbol de eventos, no es habitual combinar ramas. El árbol de eventos se ramifica en cada función de seguridad y se extiende cada vez más.

Gráfico 17: Símbolos del árbol causa-consecuencia



### **Descripción de las secuencias de eventos resultantes**

El último paso en la parte cualitativa del análisis es describir las diferentes secuencias de eventos que surgen del evento iniciador. Una o más de las secuencias pueden representar una recuperación segura y un retorno a la operación normal o un apagado ordenado. Las secuencias de importancia, desde el punto de vista de la seguridad, son aquellas que dan lugar a accidentes.

El analista debe esforzarse por describir las consecuencias resultantes de una manera clara e inequívoca. Cuando se describen las consecuencias, el analista puede clasificarlas de acuerdo con su criticidad. La estructura del diagrama, que muestra claramente la progresión del accidente, ayuda al analista a especificar dónde los procedimientos o sistemas de seguridad adicionales serán más efectivos para proteger contra estos accidentes.

### **Análisis cuantitativo**

Si se dispone de datos de fiabilidad pertinentes para el evento iniciador y todas las funciones de seguridad activadas, podrá llevarse a cabo un análisis cuantitativo del diagrama para dar frecuencias de probabilidad de las consecuencias resultantes.

Para el evento iniciador, generalmente especificamos la frecuencia de ocurrencia del evento, es decir, el número esperado de ocurrencias por unidad de tiempo. Para las diversas funciones de barrera / seguridad tenemos que especificar la probabilidad de que la función de barrera / seguridad no se mantenga cuando se activa. Para evaluar esta probabilidad, normalmente tenemos que estimar las tasas de fallo de cada uno de los componentes que componen la función barrera/seguridad. También tenemos que saber cómo se vinculan los diversos componentes entre sí y las posibles estrategias de mantenimiento. La evaluación puede llevarse a cabo mediante el análisis del árbol de fallas.

Si asumimos que todas las funciones de barrera/seguridad son estáticamente independientes, es un procedimiento bastante simple combinar los datos para obtener las probabilidades/frecuencias de consecuencia. Estos se obtienen multiplicando la frecuencia del evento iniciador por las

probabilidades de los símbolos de barrera relevantes a lo largo de la secuencia de eventos real.

Considere el diagrama de consecuencia de causa en la figura a continuación, Deje que LDA (abreviatura de lambda) denote la frecuencia del evento iniciador. En este ejemplo, se supone que LDA es igual a 1.0. sea  $P(B)$  la probabilidad de salida SÍ del primer símbolo de barrera.  $P(B)$  es, por lo tanto,  $P(\text{el sobrecalentamiento del motor es suficiente para causar fuego})$ . Se supone que esta probabilidad es igual a 0,4 en el diagrama.

Vamos más allá:

$P(C)=P(\text{el operador no se extingue})=0.1$

$P(D)=P(\text{el sistema contra incendios del edificio no puede extinguir el fuego})=0,85$

$P(E)=P(\text{la alarma de incendio no suena})=0.3$

Dejemos que A denote la negociación del evento A, entonces sabemos que  $P(A)=1-P(A)$

En consecuencia, la frecuencia  $K_1$  es ahora:

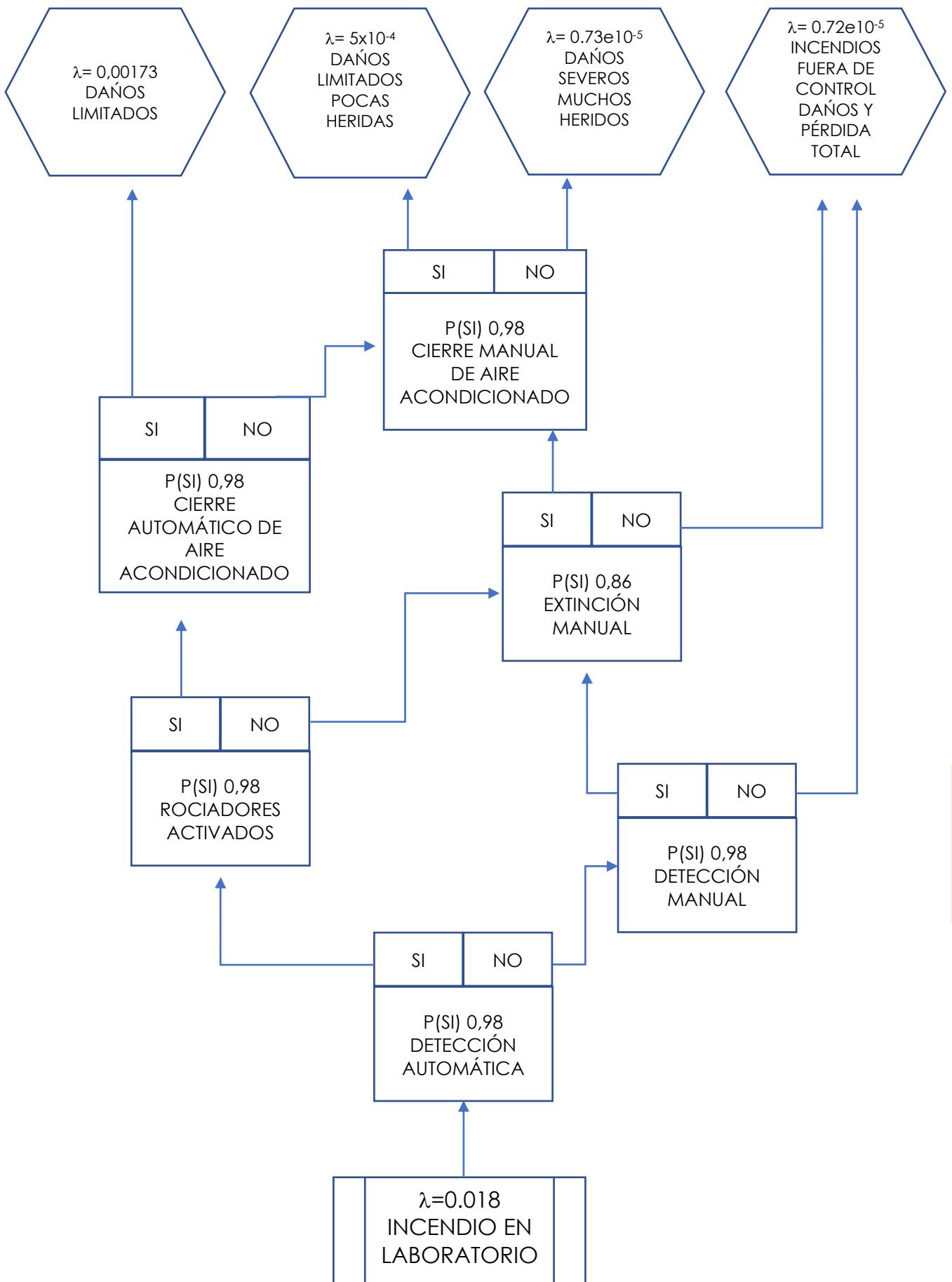
$F(K_1)=LDA \cdot P(B) \cdot P(C) \cdot P(D) \cdot P(E)=0,0102,$

Y del mismo modo

$F(K_2)=LDA \cdot P(B) \cdot P(C) \cdot P(D) \cdot P(E)=0.0238, \text{ etc.}$

Se ve que la frecuencia de una consecuencia  $K_i$  se obtiene simplemente multiplicando las probabilidades a lo largo de la secuencia de eventos que conduce a  $K_i$

Gráfico 18: Ejemplo de CCT para incendios



## Análisis preliminar de peligros

El análisis preliminar de peligros se realiza en las primeras etapas de un proyecto. Se centra en identificar el riesgo sin considerar los detalles del sistema. Muchas empresas han desarrollado sus propios métodos y rutinas para PHA. Se utiliza durante la factibilidad y el diseño conceptual de proyectos con el fin de asegurar una buena ubicación de la planta y sus equipos, y para evaluar materias primas alternativas, procesos y tipos de equipos.

La necesidad de un mayor análisis de riesgos se identifica aquí, también da a los ingenieros directrices para las siguientes fases del proyecto.

El método puede contener la identificación del peligro, la frecuencia, la evaluación de las consecuencias, la evaluación del riesgo y las propuestas de medidas de reducción del riesgo. Esto se describe con más información a continuación.

los mejores resultados se consiguen en el PHA que se ejerce en un grupo de ingenieros con diferentes habilidades que están involucrados en el proyecto.

### **procedimiento**

Un análisis preliminar de peligros es fácil de realizar. No requiere ninguna habilidad analítica avanzada del personal que realiza el análisis, sin embargo, es necesario conocer y comprender la misión de la planta / sistema, y las limitaciones bajo las cuales tiene que operar. El análisis puede realizarse de acuerdo con el siguiente esquema.

- Deben identificarse los diferentes peligros en la planta/sistema. Esto podría basarse en una lista de verificación. El peligro identificado se describe con más fondo y se determinan las condiciones de contorno.
- Se identifican y describen las posibles consecuencias.
- A continuación, se identifican las medidas de reducción de frecuencia y consecuencias instaladas. Estos se revisan para determinar los efectos que podrían tener para manejar los peligros identificados.
- Sobre la base de lo anterior, la frecuencia y las consecuencias de los peligros que deben ocurrir se juzgan de acuerdo con la matriz de riesgos en las páginas siguientes.

- El riesgo puede entonces compararse con los criterios de aceptación y juzgarse como tolerable o no.
- Si se descubre que el riesgo no es tolerable, es necesario introducir algún tipo de medidas de reducción del riesgo. Estas medidas de reducción del riesgo podrían ser medidas de reducción de frecuencia o de consecuencias.

### Limitaciones

El PHA se establece anteriormente como un método de análisis de riesgos gruesos y, como tal, solo tratará los peligros en general. La principal ventaja es que podría utilizarse para seleccionar peligros que se analizarán más a fondo en profundidad.

Tabla 6: Ejemplo PHA

<b>PELIGRO:</b>	
Consecuencia	
Factores reductores de frecuencia/consecuencia	Reducción de frecuencia: Reducción de consecuencias
Consecuencias de frecuencia	
Riesgo tolerable	
Medidas de reducción de riesgos propuestas para ser tolerables:	Reducción de frecuencia Reducción de consecuencias
Comentarios	

### Clases de frecuencia/consecuencia

Para evaluar adecuadamente el riesgo, es vital vincular el factor de consecuencia a un factor/clase de frecuencia identificado de manera similar, que se basa en la experiencia adecuada del operador. Estos se pueden establecer de la siguiente manera:

A	muy bajo	menos de $10^{-5}$ por año
B	bajo	menos de $10^{-3}$ por año
C	medio	menos de $10^{-1}$ por año
D	alto	una vez al año o menos

## Consecuencias

Los diversos resultados posibles de cada peligro / evento accidental deben evaluarse teniendo en cuenta circunstancias particulares como las condiciones climáticas, la ignición retardada, la disponibilidad y el rendimiento de las barreras de seguridad, el operador, la intervención y otros. Las consecuencias de estos eventos accidentales deben clasificarse de acuerdo con la gravedad con respecto al efecto en las personas, el medio ambiente y el plan en sí.

Las consecuencias son el resultado del efecto de peligro, los factores que se pueden utilizar son los siguientes:

1	Menor	Situación segura, lesiones menores, pequeños daños al medio ambiente, pequeñas pérdidas financieras
2	Muy fuerte	Daños locales a la planta, situación bajo control, lesiones al personal, pequeños daños al medio ambiente, pequeñas pérdidas financieras
3	Destacado	Amenazar la integridad de la unidad, situación controlable, posibles muertes y/o lesiones graves al personal, daño medio al medio ambiente, pérdida financiera media
4	Catastrófico	Sistema totalmente fuera de control, muchas muertes, grandes daños al medio ambiente, grandes pérdidas financieras



## Modos de fallo y análisis de efectos

El análisis de modo y efecto de falla (FMEA) fue una de las primeras técnicas sistemáticas para el análisis de fallas. Fue desarrollado por ingenieros de confiabilidad a fines de la década de 1950 para determinar los problemas que podrían surgir del mal funcionamiento de los sistemas militares.

Un análisis de modo y efectos de falla son a menudo el primer paso en un estudio sistemático de confiabilidad. Implica revisar tantos componentes, ensamblajes y sub sistemas como sea posible para identificar posibles modos de falla, causas y efectos de tales fallas. Para cada componente, los modos de falla y sus efectos resultantes en el resto del sistema se escriben en un formulario FMEA específico. Hay numerosas variaciones de tales formas.

DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD		
Identificación	Función	Modo operativo
DESCRIPCIÓN DEL FALLO		
Modo de fallo	Mecanismos de fallo	¿Cómo detectar?
EFECTO DEL FRACASO		
En los otros sistemas	En la función principal	Estados operativos
Tasa de fallos	Clasificación crítica	Acción correctiva

FMEA es principalmente un análisis cualitativo, que generalmente se lleva a cabo durante el diseño de un sistema. El propósito es entonces identificar las áreas de diseño donde se necesita mejorar para cumplir con los requisitos de confiabilidad.

FMEA se puede llevar a cabo comenzando en el nivel de componente y expandiéndose hacia arriba (el enfoque "de abajo hacia arriba"), o desde el nivel del sistema hacia abajo (el enfoque de "arriba hacia abajo"). El nivel de componente al que se debe realizar el análisis es a menudo un problema. A

menudo es necesario hacer concesiones, ya que la carga de trabajo podría ser abrumadora incluso para un sistema de tamaño moderado. Sin embargo, es una regla general ampliar el análisis a un nivel en el que se disponga o se puedan obtener estimaciones de la tasa de fallos.

## **Análisis de peligro de explosión**

Según DIN EN 1127-1:1997, una explosión es una reacción de oxidación o descomposición que genera un aumento de temperatura o presión o ambos simultáneamente.

### **Prevención de explosiones**

Por prevención primaria de explosiones se entienden todas las medidas que **evitan que se produzca** una atmósfera potencialmente explosiva.

De ser posible, se debe reemplazar un material potencialmente explosivo por otro sin peligro de explosión (por ejemplo: reemplazar pinturas que contienen solventes por pinturas a base de agua).

Además, los materiales pueden aislarse, es decir, para evitar la admisión de aire y, por lo tanto, de oxígeno.

Si no es posible prevenir una atmósfera potencialmente explosiva, deberán adoptarse medidas que impidan la ignición de la atmósfera potencialmente explosiva.

### **Evitar las fuentes de ignición (prevención secundaria de explosiones)**

Al evitar las fuentes de ignición, una vez más se elimina una de las condiciones del triángulo de explosión. Por lo tanto, no puede ocurrir una explosión.

En la Directiva 99/92/CE sobre el lugar de trabajo, o alternatively en la norma IEC 60079-10, todas las áreas potencialmente explosivas deben ser divididas en zonas por el operador de la planta. Cuanto mayor y mayor sea la probabilidad de que se produzca una atmósfera peligrosa y potencialmente explosiva, más exigentes serán los requisitos de los dispositivos en uso. En las zonas, debe evitarse la probable eficacia de las fuentes de ignición.

Los siguientes ejemplos podrían considerarse posibles fuentes de ignición: Cf: DIN EN 1127-1, borrador abril 2009

- superficies calientes
- llamas y gases calientes
- chispas generadas mecánicamente
- sistemas eléctricos
- corrientes de ecualización eléctrica / protección catódica contra la corrosión
- electricidad estática
- Rayo
- ondas electromagnéticas / alta frecuencia
- radiación ionizante
- ultrasonido
- compresión adiabática y ondas de choque
- reacciones exotérmicas

### ***Prevención terciaria de explosiones***

Si no es posible garantizar que se prevenga la aparición de una atmósfera potencialmente explosiva, y si no es posible excluir su ignición, deberán aplicarse medidas adicionales de prevención de explosiones. El objetivo es controlar o limitar los efectos de una explosión.

Por lo tanto, la prevención terciaria de explosiones se aplica cuando las medidas de prevención primaria y secundaria de explosiones no son suficientes.

Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, mediante las siguientes medidas:

- prevención constructiva de explosiones, es decir: construcción a prueba de explosiones que puede soportar la explosión de explosión
- arrestadores de flashback
- sistemas automáticos de extinción de espuma
- sistemas de liberación de presión y ecualización de presión.

Es necesario conocer la cantidad de energía liberada y la distancia del objeto en cuestión. A continuación se indican valores aproximados para el área de peligro para los tipos más comunes de explosiones. Solo se consideran los efectos de la presión y se supone que la explosión tiene lugar al aire libre.

Para estimaciones más precisas se necesita un programa informático, que tenga en cuenta la geometría, la fuerza del objeto en cuestión, la metralla, los efectos del calor, etc.

### **Explosiones de recipientes a presión**

Energía estimada liberada

$$E = P \times \frac{V}{k - 1}$$

Ecuación 11: Energía liberada

donde:

P es la presión del gas (Pa)

V es volumen en m<sup>3</sup>

k es cp/cv para el gas

Ejemplos de valores para k:

▪ aire	1.40
▪ amoníaco	1.32
▪ argón	1.67
▪ nitrógeno	1.40
▪ oxígeno	1.40
▪ dióxido de carbono	1.31
▪ hidrógeno	1.41

Estimar el número correspondiente de explosivos en kg dividiendo E por 5000000 (  $5 \times 10^6$ ). Luego calcule el radio del área de peligro para personas y edificios.

Explosiones de sustancias sólidas o líquidas o mezclas de un agente oxidante y combustible, Vaya directamente al siguiente diagrama, utilizando la cantidad en kg de sustancia o mezcla en cuestión.

El diagrama es para explosivos con un contenido de energía de 5 MJ/kg. Si se conoce el contenido energético real de la sustancia, multiplique la cantidad en kg por el factor (energía real 15).

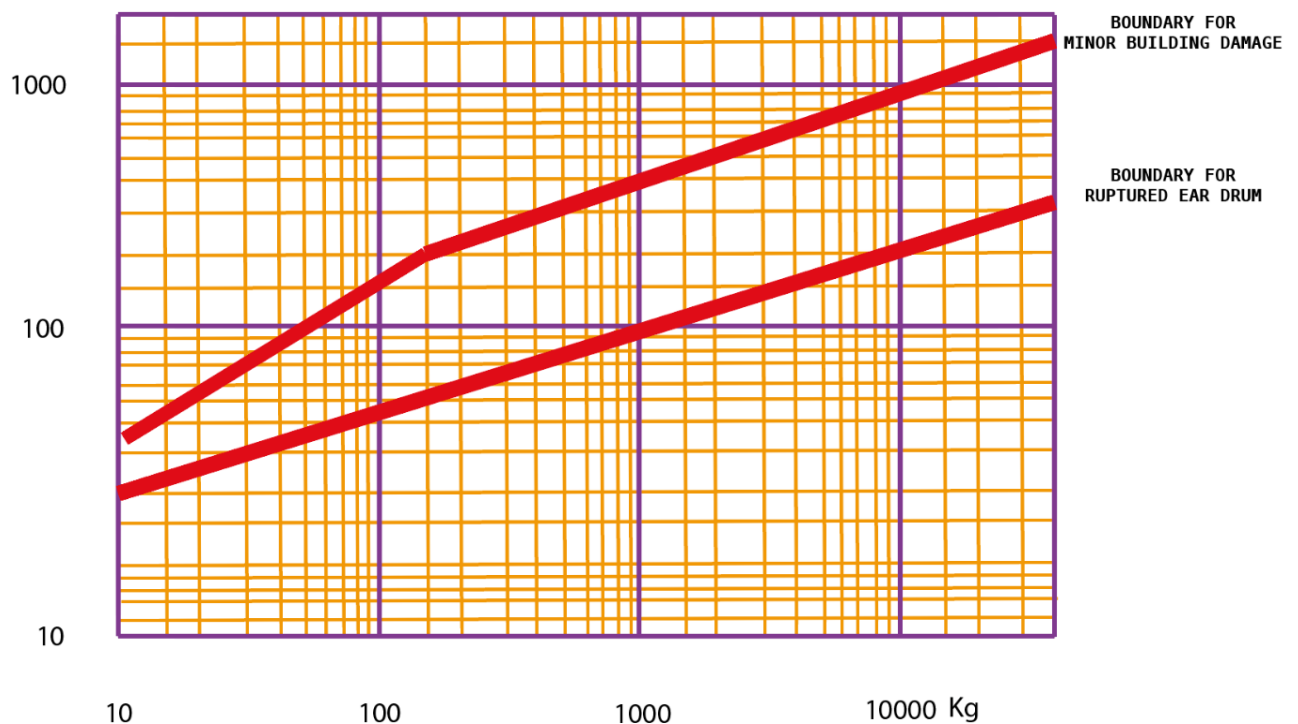
Gráfico 19: Daños por onda de choque de explosión

fuentes:

HIE:

Suecia

Danger zone in radius in meters



REALIZADO POR: PAUL SÁNCHEZ FRANCO

### Explosiones de combustible/aire

Calcular el número de explosivos en kg correspondiente al efecto explosivo de la mezcla

$$\text{kg} = 0.02 \times M \times Q$$

donde:

M = kg de sustancia inflamable liberada en el aire

Q = calor de la combustión de la sustancia en MJ/kg (si se desconoce, utilice el valor 50 MJ/kg)

La cantidad estimada de kg debe duplicarse para hidrógeno, etileno, acetileno. Véase el Gráfico 19: Daños por onda de choque de explosión para el radio de la zona de peligro para personas y edificios.

## **Análisis de costo-beneficio**

Es una técnica para comparar los costos y beneficios de diferentes medidas. En las evaluaciones de riesgos, generalmente se utiliza para evaluar medidas de seguridad adicionales para un proyecto comparando:

- Los costes de aplicación de la medida de seguridad
- Los beneficios de la medida de seguridad, en términos de reducción de riesgos

Para hacer esta comparación, el costo y el beneficio deben expresarse en unidades comunes. Tradicionalmente esto ha sido en unidades monetarias, lo que implica la valoración del riesgo a términos monetarios humanos.

El propósito del ACB es demostrar que los beneficios de una medida superan su costo y, por lo tanto, indicar si es apropiado implementar la medida. CBA no puede proporcionar una decisión definitiva, porque otros factores además de los riesgos y los costos son relevantes, pero proporciona una guía importante.

El ACB no es la única técnica para tomar decisiones sobre las medidas de seguridad. Los juicios subjetivos pueden ser más apropiados para medidas operativas detalladas, el cumplimiento de los códigos de ingeniería puede ser más apropiado para muchos problemas durante el diseño. Sin embargo, al considerar las principales medidas que afectan a los riesgos potencialmente catastróficos de la mordida remota, la industria comúnmente utiliza el análisis de costo-beneficio.

Al considerar los peligros naturales, se puede aplicar el mismo método, especialmente cuando se consideran las diferentes medidas de seguridad disponibles.



## **Capítulo 5: Conceptos adicionales de medición de riesgos**

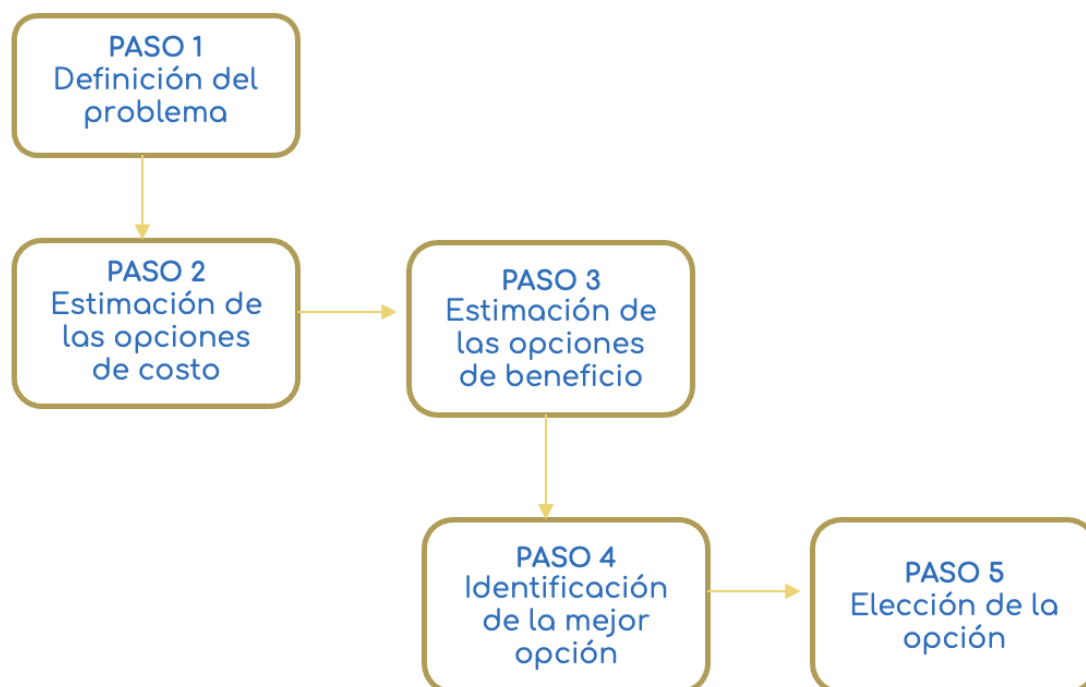
## Conceptos Adicionales en Medición de Riesgo

### Análisis Costo Beneficio

#### *Pasos de análisis de costo-beneficio*

Las principales etapas en un marco genérico de análisis de costo-beneficio (ACB) son:

Gráfico 20: etapas del análisis costo-beneficio





**Definición del problema**

Definir el problema a considerar

- Tipo de accidente
- Nivel de riesgo, frecuencia y consecuencias
- Opciones de reducción de riesgos

Estimación de los costes de las opciones

Los siguientes tipos diferentes de costes deben tenerse en cuenta para cada opción de reducción de riesgos en la recopilación de información sobre costes:

- Costos de capital
- Componentes de costa operativos o recurrentes
- Componentes de costos de mantenimiento
- Costos de tiempo de inactividad o retraso
- Costes laborales

Calcular el gasto anual para cada opción de reducción

**Identificar la opción preferida**

Finalmente, se debe considerar el costo y los beneficios con la opción de reducción de riesgos. Esto tiene que hacerse anualmente. El resultado es un costo-beneficio y un valor monetario que debe compararse.

Para esta comparación también hay que considerar los valores blandos (valores no monetarios).

**Decisión sobre qué opción seleccionar**

Si existen múltiples medidas de reducción, estas deben compararse entre sí y seleccionarse las más beneficiosas.

## Valor de la vida

Para llevar a cabo el ACB, tanto los costos como los beneficios deben expresarse en las mismas unidades, lo que significa en términos monetarios.

Por lo tanto, los primeros requisitos son los métodos de dispositivo para estimar el "**valor de una vida estadística**" o, para abreviar, el "**valor de una vida**". Hay una amplia variedad de enfoques que se pueden utilizar para esto y una serie de problemas éticos relacionados con él. El proceso de poner un valor de la vida parece ser de sangre fría o incluso poco ético. Pero en la práctica el límite de recursos exige ordenar las prioridades.

Algunos métodos diferentes para valorar una vida están disponibles:

- Poder adquisitivo individual
- Paga a cambio de su vida
- Incrementos de riesgo
- Preferencia del consumidor
- Valores de la corte
- Seguro de vida
- Costo de alcanzar el objetivo de riesgo
- Reducción ad absurdum

Hay ciertos enfoques para la determinación del valor de una vida que no han demostrado ser fructíferos. Una es basar el análisis en el poder adquisitivo individual, los enfoques del capital humano. Esto implica que aquellos que no pueden trabajar, por la razón que sea, están sin valor. También es incompatible con el enfoque normal en el análisis de costo-beneficio, que consiste en determinar cuál es el valor del curso de acción propuesto para las personas afectadas. Por otro lado, tampoco es útil preguntarle a un individuo qué suma estaría dispuesto a pagar a cambio de su vida.

Un enfoque más fructífero es considerar pequeños incrementos de riesgo y luego determinar lo que las personas pagarán para eliminarlos. Hay dos métodos principales disponibles para hacer esta determinación. Una es preguntar a las personas, la otra es observar su comportamiento, típico

adecuado hacer comparaciones de elecciones como las que hay entre modos de transporte o entre trabajos de diferentes grados de seguridad.

Dos estudios del Reino Unido pusieron el valor de la vida en 4,5 millones en 1990. Uno de ellos se basa en las tasas de accidentes mortales en diferentes ocupaciones y el otro en la disposición a pagar por una mayor seguridad. También es posible considerar un gran incremento del riesgo, en particular aquellos, que se encuentran en el umbral en el que no son aceptables para el individuo, cualquiera que sea la compensación financiera. Este aspecto no está bien desarrollado, pero es relevante para situaciones como las que ocurren en accidentes nucleares donde se puede pedir a las personas que trabajen en condiciones donde los niveles de radiación son altos.

Otro enfoque se basa en consideraciones de preferencia del consumidor. La siguiente ilustración para la valoración implícita puesta en su propia vida por un peatón que cruza la superficie de uso del metro más seguro (2000):

Probabilidad de muerte en cruce de carretera	<b><math>10^{-8}</math></b>
Tiempo extra por uso del metro	0.004 h
Valor que la gente pone a su propio tiempo	0.25/h
VALOR DE LA VIDA	$0.25 \times 0.004 / 10^{-8} = 125000$

El valor que las personas le ponen a su tiempo se toma de los estudios de transporte. El valor de una vida obtenida de estudios más extensos realizados por la Estación de Investigación de Incendios es de aproximadamente 75.000

Los daños que los tribunales otorgan por muerte o lesiones a menudo incluyen una suma para la reducción de la esperanza de vida y, por lo tanto, son otro medio de estimar el valor de una vida.

También se ha sugerido que el valor de la vida puede determinarse a partir de las sumas cubiertas por el seguro de vida. Hay objeciones bastante serias a algunos de estos enfoques. En el caso de la valoración de la vida en términos del valor de la producción futura del individuo, la reducción ad absurdum es que este criterio pone un valor cero a la persona de vida o jubilada.

La sociedad, sin embargo, está dispuesta a pagar para preservar esa vida. La preferencia del consumidor busca una base objetiva en lo que las personas realmente hacen, pero difícilmente parece reflejar la forma en que realmente piensan. Los laudos judiciales establecen un valor notoriamente bajo en la esperanza de vida y, por lo tanto, el valor es una mala guía.

El seguro de vida se contrata para proteger a los dependientes o como inversión y no está destinado a compensar la muerte. Los valores implícitos en las decisiones administrativas muestran una difusión muy amplia y, de nuevo, están lejos de ser satisfactorios como guía.

Gert Swenson, el investigador de SIDA describe un enfoque bastante diferente y más relevante. Esto es para considerar el costo de alcanzar el objetivo de riesgo, que utiliza para las plantas de proceso, estima este costo como equivalente a alrededor de \$ 1.5 millones por vida y sugiere que en general esta es una cifra razonable para tomar como el valor de una vida. Una valoración inferior a 150000 dólares difícilmente sería aceptable, mientras que una de más de 15 millones de dólares parecería extravagante.

En el ejemplo siguiente se muestran las cifras suecas utilizadas para el ahorro de una vida en 2000

Tabla 7: Ejemplo Causa-Consecuencia

Medir	\$/vida salvada
Prueba de toda la sangre de los donantes para detectar un virus que puede causar leucemia y/o enfermedad nerviosa grave.	US\$ 437'500.000
Campaña contra el tabaquismo	US\$ 4.000
Cable de alto voltaje redondeado a tierra en lugar de aire a través de un área de carcasa	\$125'000.000
Filial para organizar la ventilación de las casas de radón	US\$ 9.000

## Niveles críticos de aceptación

Una evaluación del nivel de riesgo a partir de un análisis de riesgos sin criterios de aceptación tiene poco valor. Por supuesto, es posible introducir medidas de seguridad en diferentes áreas, pero no hay identificación de cuándo las situaciones están bajo control.

La formulación de criterios de aceptación de riesgos es un proceso con muchos aspectos abstractos, que deben tenerse en cuenta.

Las personas en la vida cotidiana aceptan diferentes tipos de riesgo.

Se diseñan, construyen y operan actividades técnicas, se realizan desarrollos técnicos que implican riesgos nuevos y desconocidos, se establecen nuevos proyectos de desarrollo comunitario. Cada una de estas actividades implica riesgos y alguna forma de aceptación. El proceso por el cual el riesgo es aceptado es normalmente complejo.

La base para la aceptación diaria de los riesgos es que la nueva construcción satisfaga las normas, estándares y leyes existentes. Rara vez hay una influencia política directa en esto. El aparato administrativo, es decir, las autoridades, las comunidades, las autoridades de gestión de riesgos y otros, comprobar que se cumplen los requisitos.

La comprobación es en algunos casos muy a través y en otros se basa en un sistema de empuje en el operador/desarrollador. El sistema de confianza se formaliza en algunos casos en forma de una autorización de un departamento o persona en particular.

Se ejerce influencia política. En los casos en que se observe una fuente específica de riesgo y despierte el interés público, se influirá en las autoridades. Los ministros y los gobiernos pueden iniciar investigaciones y aprobar nuevas leyes. Por lo general, se requiere un trabajo técnico considerable, antes de que dicha ley pueda interpretarse y expresarse en forma de reglamentos.

La investigación, que saca a la luz nuevos conocimientos sobre los riesgos, influye en los cambios en las normas y normativas, las propias autoridades inician la investigación y el desarrollo con el fin de reunir una base para nuevos requisitos en el caso de nuevos desarrollos técnicos, o en áreas donde los riesgos son más altos que el promedio.

Las organizaciones de ingeniería tienen una producción continua de nuevos estándares con requisitos de seguridad asociados. Algunas de las normas se convierten en requisitos legales, al ser mencionadas en las leyes.

La influencia pública y política en el proceso de aceptación o aprobación a menudo surge como resultado directo de accidentes. Un accidente que conduce a una discusión pública o política puede resultar en un cambio en la práctica administrativa y, en algunos casos, en una nueva marca de la ley. Un ejemplo reciente es la reacción británica sobre el desastre del Piper Alfa en 1988 cuando el ejecutivo de salud y seguridad (HSE) hizo una revisión completa de los requisitos de seguridad para las unidades en alta mar en el Mar del Norte.

Una reacción pública o política a un caso específico puede ser una señal de que ha habido un cambio en la actitud hacia la aceptación del riesgo. Apenas hay razón para dudar de que tales cambios han tenido lugar en los últimos 20 años. Una reacción pública puede ser una señal de que el proceso de gestión de riesgos no está a la altura de las expectativas.

El proceso descrito anteriormente es complicado, y los criterios de aceptación de riesgos a menudo están implícitos y nublados. Es necesario estudiar las normas, regulaciones y requisitos individuales en detalle para extraer los principios de seguridad en los que se basan. Cuando los principios de seguridad son explícitos, a menudo se requieren interpretaciones.

El sistema de normas y leyes funciona bien, ya que permite a las personas y organizaciones llevar a cabo su trabajo, construir y operar nuevas comunidades y plantas, mientras mantienen el riesgo diario en un nivel normal. Sin embargo, solo hay comunicaciones limitadas entre varias partes del sistema y, por lo tanto, muy poca uniformidad en los niveles de seguridad logrados y poca optimización general.

Los posibles accidentes mayores tienen una posición especial en este contexto. Normalmente, en el mejor de los casos, pobre, la mayoría de las veces no hay experiencia de los diferentes tipos de accidentes que pueden ser motivo de preocupación. Las normas existentes generalmente se basan en la producción normal, en lugar de en el potencial de accidentes mayores. Sólo hay unas pocas normas que cubren el campo de los peligros mayores. Esto se traduce en la necesidad de nuevos criterios de aceptación, o al menos, en la necesidad de ampliar las normas tradicionales. También resulta en un deseo de criterios de aceptación claros.

### ***Principios para la aceptación del riesgo***

Hay una serie de principios filosóficos / éticos, que pueden utilizarse como base para la aceptación del riesgo.

- Es una buena práctica, para las actividades que implican un riesgo de accidentes mayores, que se apunte a un nivel de seguridad que no sea peor que el de países comparables.
- El riesgo al que uno está expuesto en la vida cotidiana no debe ser cambiado significativamente por actividades, como la producción industrial, que son creadas por otros sin nuestra aceptación.
- Al planificar el inicio de actividades basadas en nuevas tecnologías, debe investigarse si existen diseños alternativos que puedan operar de manera similar, con menos riesgo.
- Los recursos disponibles para fines de seguridad deben utilizarse principalmente cuando den el mejor resultado general.

Existen otros principios en diversas leyes, por ejemplo, el principio de indemnización por cualquier daño causado o por pérdidas tales como la reducción del valor de la propiedad. Existe un viejo principio de jurisprudencia, "el Minimis" o "el tribunal no se ocupa de trivialidades", que tal vez pueda usarse para eliminar el menor riesgo. Una característica común de estos principios éticos es que no pueden utilizarse directamente en un contexto técnico. Este hecho requiere interpretación.

Los siguientes principios prácticos pueden utilizarse como base para la aprobación y que proporcionan una interpretación de los principios básicos:

1. Una actividad puede aprobarse sobre la base de la comparación con tipos similares
2. Una actividad puede ser aprobada si cumple con todos los requisitos de las normas pertinentes
3. Una actividad podrá ser aprobada si tiene un alto nivel de seguridad, expresado en términos del número de medidas de seguridad en relación con los posibles eventos accidentales.

4. Una actividad puede ser aprobada, si un análisis de riesgos exhaustivo y bien basado muestra que el nivel de riesgo es aceptable o tolerablemente bajo.
5. Una actividad puede ser aprobada si los beneficios de su uso son mayores que los riesgos
6. Una actividad puede ser aprobada si utiliza la mejor práctica posible.

**Principio 1:** "experiencia" se utiliza de manera bastante general, en muchos tipos de actividades. El principio difícilmente puede ser utilizado con un potencial de accidentes mayores. Dado que el principio requiere que la experiencia de accidentes mayores esté disponible.

**Principio 2:** "normas", es una parte básica y necesaria de todo procedimiento de aprobación. En circunstancias normales de ingeniería, no se puede confiar en los dispositivos de seguridad ni calcular su fiabilidad, a menos que estén contruidos de acuerdo con alguna norma. Las normas nacionales e internacionales existentes se reconocen como una buena base, pero rara vez son lo suficientemente amplias. Como ejemplo, la mayoría de las grandes compañías petroleras y químicas tienen sus propios estándares internacionales. Estos, a menudo abarcan muchos miles de páginas que, sin embargo, a veces se reconocen como inadecuadas, y se complementan con análisis de riesgos.

**Principio 3:** puede denominarse "defensa en profundidad", el principio reconoce que ninguna medida de seguridad es perfecta, y por lo tanto requiere que haya varias medidas de seguridad para cada posible evento accidental. El principio es simple y fácil de entender, pero cayó en el mal crédito en la década de 1970 como resultado de varios accidentes en centrales nucleares en los que varios dispositivos de seguridad fallaron al mismo tiempo. Estas fallas llamadas de "causa común" resultaron en un replanteamiento del diseño de los sistemas de seguridad. El principio se ha utilizado más recientemente en una forma modernizada, en la que la debilidad anterior se reduce o elimina.

**Principio 4:** El "análisis de riesgos cuantitativo o probabilístico" es un enfoque operativo para la evaluación de riesgos. Sin embargo, es necesario evaluar el resultado sobre la base de uno o más de los otros principios.

**Principio 5:** "análisis de costo-beneficio" se ha utilizado especialmente en los Estados Unidos, como un paso en la evaluación del riesgo de transporte, en el



uso de medicamentos, en el entorno de trabajo y la protección del medio ambiente. La principal desventaja es que el análisis de costo/beneficio es la decisión más importante y difícil. El principio también requiere que se adopte una posición en la cuestión del valor de la vida humana. Por lo tanto, es más difícil de utilizar en un contexto técnico.

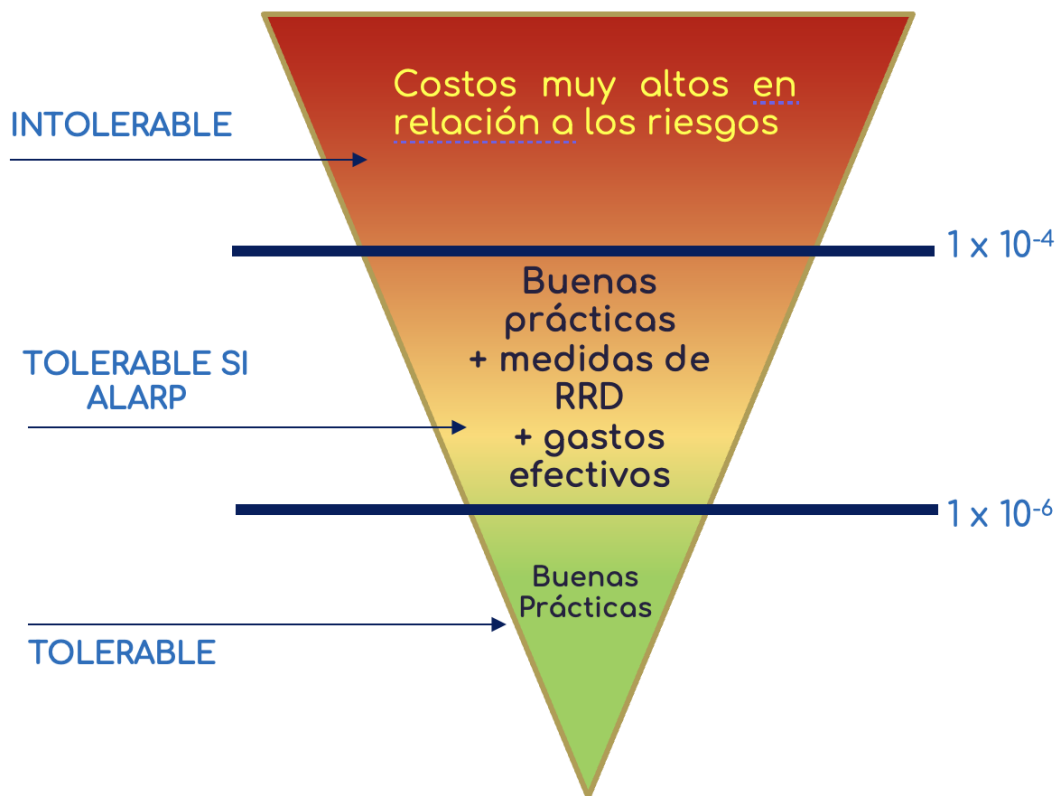
**Principio6:** "tan seguro como sea posible", se utiliza hoy en día en algunas facetas de la seguridad nuclear, y se utiliza regularmente en cuestiones ambientales y de entorno de trabajo. Todos los principios tienen relevancia en un área u otra. Sin embargo, un uso operativo de los principios requiere que los principios estén respaldados tanto por métodos como por criterios específicos, y estos deben ser utilizables, operativos y razonablemente fáciles de entender.

### ***Aceptación del riesgo***

El riesgo comprende tanto la probabilidad como la consecuencia de posibles accidentes. La aceptación del riesgo generalmente se discute en los tres niveles diferentes, a saber:

- Riesgo intolerable
- Tan bajo como sea razonablemente posible (ALARP)
- Ampliamente aceptable

Gráfico 21: ALARP



ALARP variará dependiendo del nivel de riesgo. No obstante, las medidas adoptadas para prevenir o limitar los accidentes de gran entes deben describirse en el informe de seguridad y ser, como mínimo, de «buenas prácticas pertinentes». El evaluador deberá centrarse en estas medidas para estar convencido de que representan una buena práctica, etc.

Se considerará que las buenas prácticas pertinentes han cumplido el requisito de calidad cuando:

- puede demostrarse que los riesgos sociales (sujetos a incertidumbre) son ampliamente aceptables (por ejemplo, mediante el uso de una integral de riesgo aproximada como TRES, ARI, QuickFN u otra metodología de riesgo social; y
- ningún grupo, o individuo, está sujeto a riesgos individuales relativamente altos que no sean ALARP.

Se considera que las buenas prácticas están sujetas al proceso de mejora continua y alentará a la industria a mantenerla actualizada a medida que avanza la tecnología y varía la preocupación de la sociedad por los riesgos de accidentes mayores.

Habiendo estado convencido de que las medidas en vigor representan las buenas prácticas pertinentes, los riesgos individuales residuales se incluirán en una de las siguientes categorías:

### ***Riesgo intolerable:***

Claramente, si el riesgo está en esta región, entonces ALARP no se puede demostrar y se deben tomar medidas para reducir el riesgo casi independientemente del costo.

### ***Riesgo "tolerable si ALARP"***

Si los riesgos caen en esta región, entonces se requiere una demostración de ALARP específica para cada caso. El alcance de la demostración debe ser proporcional al nivel de riesgo.

### ***Riesgo ampliamente aceptable:***

Si se ha demostrado que el riesgo se encuentra en esta región, entonces la demostración de ALARP puede basarse en el cumplimiento de códigos, normas y buenas prácticas establecidas. No obstante, deberá demostrarse que están actualizados y son pertinentes para las operaciones de que se trate.

También es necesario presentar tanto el riesgo individual (RI) como el riesgo grupal (GR) como se explica a continuación.

### **Riesgo individual**

El riesgo individual (IR) se puede definir de la siguiente manera:

Riesgo experimentado por un solo individuo en un período de tiempo determinado. Refleja la gravedad del peligro y la cantidad de tiempo que el individuo está cerca de ellos. El número de personas presentes no lo afecta significativamente.

El riesgo individual es definido formalmente por Edward Chem, 1992 como la frecuencia a la que se puede esperar que un individuo sostenga un nivel dado de daño a partir de la realización de peligros específicos. Por lo general, se toma como riesgo de muerte, y generalmente se expresa como un riesgo por año.

Riesgo individual promedio = número de muertes por año/número de personas en riesgo

Por ejemplo, un riesgo de muerte de 1 persona entre 1000 por año es igual a  $10^{-3}$ /año

### **Riesgo social**

Una forma adecuada de abordar el riesgo para un grupo de personas es mediante la consideración de criterios relacionados con el riesgo de grupo (GR). La pertinencia de los recursos genéticos se deriva de la necesidad de considerar el importante factor del equilibrio entre el incidente de eventos de accidentes relativamente pequeños y grandes.

Esta necesidad está relacionada con la primera de que la conformidad con un criterio de RI puede ser una condición necesaria, pero no siempre suficiente, para la tolerancia / aceptación del riesgo, debido a la aversión de la sociedad a los desastres a gran escala. Por lo tanto, incluso si se cumple un criterio de RI, los recursos genéticos en general también pueden necesitar ser examinados para abordar la cuestión de la aversión al riesgo.

El riesgo grupal y el riesgo social a menudo se presentan en un diagrama de frecuencia/consecuencia (curvas FN o matrices de riesgo) y muestra la relación entre la frecuencia acumulada (F) y el número de muertes (N). La pendiente de la(s) línea(s) de aceptación es a menudo inversamente proporcional al número de muertes o, la frecuencia de N muertes es equivalente a la frecuencia de una fatalidad dividida por N muertes.

El riesgo social (SR) puede definirse por:

El riesgo experimentado es un período de tiempo determinado para todo el grupo de personas expuestas. Refleja la gravedad de los peligros y el número de personas cercanas a él. Por lo general, se toma para referirse al riesgo de muerte, y generalmente se expresa como un riesgo por año.

El valor del factor de aversión se elige normalmente entre 1 y 2. Una sugerencia es que los criterios de GR tolerables se basen en el criterio de IR tolerable junto con el factor de aversión mínimo 1. Del mismo modo, los criterios de recursos genéticos ampliamente aceptables pueden basarse en el criterio de IR ampliamente aceptable junto con un factor de aversión máximo elegido como aceptación del riesgo.

Las curvas FN o matrices de riesgo son gráficas de frecuencia-fatalidad, que muestran la frecuencia acumulada de eventos que involucran N o más muertes. Se derivan clasificando los pares de frecuencia fatalidad (fN) de cada resultado de cada evento accidental, para la planta / sociedad. La forma acumulativa se utiliza para garantizar que las curvas monótonas (disminuidas constantemente) se obtengan incluso cuando no se producen algunos tamaños de accidente en el análisis.

Las curvas FN son medidas gráficas del riesgo grupal que la interrelación entre la frecuencia y el accidente (consecuencias)

### ***Ejemplos de criterios de riesgo individuales***

Los criterios de riesgo individuales tienen por objeto garantizar que las personas individuales (principalmente los trabajadores) no estén expuestas a riesgos excesivos. Son en gran medida independientes del número de trabajadores expuestos y, por lo tanto, en principio, pueden aplicarse a diferentes situaciones.

Los siguientes niveles de intolerabilidad y ampliamente aceptables para el riesgo individual (IR) se pueden encontrar en la industria offshore del Reino Unido:

#### Niveles de intolerabilidad:

Instalaciones existentes en alta mar; IR  $10^{-3}$  por año

Nuevas instalaciones offshore diseñadas y construidas IR  $10^{-4}$  por año

#### Nivel ampliamente aceptable

Instalaciones en alta mar; IR  $10^{-4}$  por año

Otro ejemplo son los criterios de planificación del uso de la tierra del ejecutivo de salud y seguridad (Reino Unido). Es estricto a la hora de planificar nuevos desarrollos en torno a instalaciones de gran riesgo. El límite superior una décima parte del riesgo de muerte en un accidente de tráfico. El límite inferior es aproximadamente diez veces el riesgo de muerte por rayo.

El desarrollo de criterios de riesgo social holandeses por parte del Ministerio de Planificación Física y Medio Ambiente de la Vivienda (VROM) se encuentra entre los criterios más sólidos. No se podrá superar.

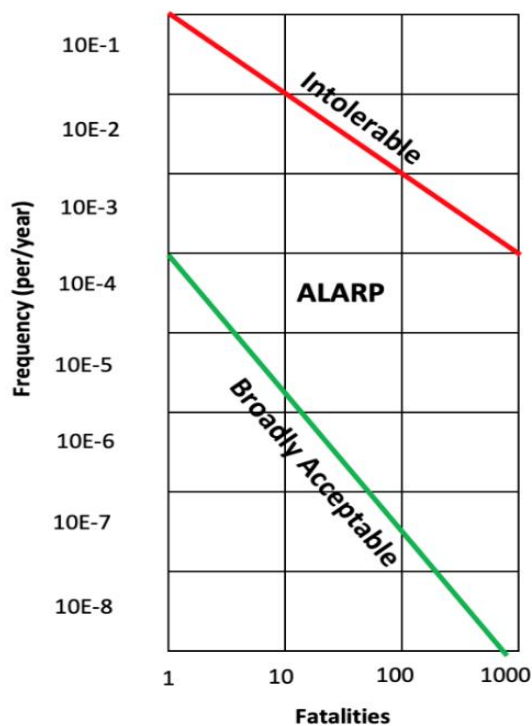
- Nivel de intolerabilidad para nuevas plantas  $10^{-4}$  por año
- Nivel de intolerabilidad para plantas existentes  $10^{-5}$  por año

### **Ejemplos de criterios de riesgo grupal / social**

A la hora de considerar los recursos genéticos, hay que tener en cuenta el número de personas implicadas. La instalación offshore utilizada como ejemplo transporta normalmente a unas 600 personas. El punto de partida en el diagrama de frecuencia / consecuencia es igual al IR con una persona a bordo, y se eleva aproximadamente 50 veces más alto con 150 personas y aproximadamente alto para 500 personas a bordo.

Nivel de intolerabilidad  $10^{-2}$  por año, factor de aversión 1  
 Nivel ampliamente aceptable  $10^{-4}$  por año, factor de aversión 1.3  
 Los niveles se muestran en el diagrama de frecuencia / consecuencia a continuación:

Gráfico 22: Zonas de riesgo



## Riesgo e incertidumbre

Existe una gran diferencia entre el **riesgo** y la **incertidumbre**, y es preciso distinguirlos para afrontarlos con naturalidad.

### ¿Cuál es la diferencia entre riesgo e incertidumbre?

La principal diferencia es que la **incertidumbre no es medible**. Aunque sea sencillo realizar “previsiones” que resulten creíbles, sólo conseguimos una sensación falsa de certeza, pues se trata de pura especulación. La incertidumbre no se puede evaluar de forma completa, mientras que el riesgo sí se puede establecer de forma clara cuáles son todas las opciones y determinar cuáles son las probabilidades de cada una de ellas. (COAHUILA, 2020)

Pongamos, por ejemplo, el lanzamiento de una moneda en el que no sabemos si saldrá cara o cruz. En este caso es sencillo evaluar las probabilidades de cada resultado posible, que son un 50%. No podemos controlar qué saldrá, pero sí cuáles son las opciones y qué probabilidad tienen. De esta forma, sabemos a qué riesgo nos enfrentamos.

Tabla 8: Diferencia entre riesgo e incertidumbre

RIESGO	INCERTIDUMBRE
<b>Resultados conocidos</b> Los resultados posibles, pueden obtenerse	<b>Efectos posibles</b> Las consecuencias son posibles, pueden producirse unas no esperadas
<b>Probabilidad</b> Se analizan las probabilidades. El resultado puede ser medido	<b>Posibilidades</b> La incertidumbre no se puede medir de forma controlada. Solo se valoran opciones
<b>Cálculo</b> Se escoge opciones en forma analítica con base a la información	<b>Experiencia o intuición</b> Se mejora la experiencia de manera intuitiva

**El riesgo se maneja analizando las probabilidades de cada opción.** Sin embargo, en la mayoría de las ocasiones no resulta tan sencillo realizar un análisis tan detallado. Y cuando esto no es posible, es cuando nos enfrentamos a la incertidumbre.

El tratar de evaluar mediante probabilidades es un ejercicio que llevamos a cabo intuitivamente, incluso en los casos en los que no tenemos claro cuáles son todas las opciones y mucho menos determinar sin lugar a duda sus posibilidades. No podemos evitarlo.

### Afrontar la incertidumbre

Para afrontar mejor la incertidumbre, **tenemos que tratar de ejercer influencia para que suceda lo que nos interesa, aun sin estar seguros de cuáles son las probabilidades de obtener el resultado que alcanzaremos.** No podemos afrontarla tratando de conseguir un fin concreto sino procurando mejorar las probabilidades de que suceda algo, algo sobre lo que no tenemos el control absoluto, pero que nos resulta favorable. No podemos eliminar la incertidumbre, pero si tratar de inclinar la balanza a nuestro favor.

Esto que parece absurdo lo hacemos constantemente. Por ejemplo, estudiar una carrera universitaria no tiene por qué tener como efecto conseguir un trabajo relacionado con lo que hemos estudiado. Pero sí puede mejorar mucho nuestras posibilidades a medio plazo.

### Riesgo

El riesgo nos resulta más cómodo **porque es perfectamente medible.** Nos permite establecer unas expectativas claras de todos los posibles resultados y eso nos tranquiliza. Aunque el resultado es incierto sabemos a qué nos enfrentamos. Conocemos todas las opciones. No tenemos que conformarnos con expectativas como sucede con la incertidumbre. El riesgo nos resulta más manejable aun cuando al no está en nuestra mano el resultado. No debemos olvidar que **la diferencia entre riesgo e incertidumbre no reside en si tenemos el control sobre el resultado.** Se trata de saber si conocemos todas las opciones posibles, y sus probabilidades (riesgo), o no (incertidumbre). (scalable, 2023)

Sinceramente, creemos que la forma en que se realizan un altísimo porcentaje de previsiones y planificaciones es incierta y sin el más mínimo sentido. Suponen eludir muchas incertidumbres con respecto al éxito que se pretende alcanzar. En un ejercicio peligroso de denegación de incertidumbres llegamos a trabajar con previsiones y planificaciones aceptando que nos sólo nos enfrentamos a riesgos perfectamente establecidos.

Esto es un grave error puesto que gestionar supone ser consciente de los recursos que se han comprometido y las opciones que tenemos de aprovecharlos. Sea ante el riesgo o ante la incertidumbre. El problema es que



ante situaciones en las que sólo asumimos la existencia de riesgos nos sentimos más cómodos y nos equivocamos, calculamos mal los recursos que vamos a comprometer. Debemos llevar cuidado porque se tiene la sensación de mayor control y no es así.

Un buen gestor tiene que estar dispuesto a afrontar las incertidumbres y calcular los riesgos para poder tomar las decisiones correctas.

## Bibliografía

Sánchez Franco, P. (2023). *Métodos de Análisis de Reiso*. Guaranda.

Sánchez Franco, P. (2023). *Métodos de Análisis de Riesgo*. Guaranda.

UNGRD. (22 de abril de 2023). *UNGRD*. Obtenido de Biblioteca digital: <http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/>

Sánchez Franco, P. (2023). *Índice de Seguridad Universitaria*. Guaranda.

Sánchez Franco, P. (2023). *Sistema de Reducción de Riesgos en la UEB*. Guaranda.

SIDA. (2023). *Risk management in Developing Countries*. Göteborg.

SafetyCulture. (22 de Abril de 2023). *Safety Culture*. Obtenido de Gestión de Riesgos en Instituciones: <https://safetyculture.com/es/temas/gestion-de-riesgos/>

OEA. (1991). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Washington.

EIRD. (22 de abril de 2023). *IERD*. Obtenido de Gestión de Riesgo: [https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion\\_de\\_riesgo\\_de\\_amenaza/8\\_gestion\\_de\\_riesgo.pdf](https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/8_gestion_de_riesgo.pdf)

UNGRD. (22 de abril de 2023). *UNGRD*. Obtenido de Gestión de Riesgo: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Reduccion-Riesgo-Desastres.aspx>

COAHUILA, U. D. (27 de Abril de 2020). *Universidad de Coahuila*. Obtenido de riesgos: [https://www.academia.edu/43002751/Universidad\\_Aut%C3%B3noma\\_de\\_Coahuila\\_El\\_riesgo\\_y\\_la\\_toma\\_de\\_decisiones](https://www.academia.edu/43002751/Universidad_Aut%C3%B3noma_de_Coahuila_El_riesgo_y_la_toma_de_decisiones)

scalab-ble. (22 de abril de 2023). *sacalb-ble*. Obtenido de Riesgo e incertidumbre: <https://www.scalabble.com/2011/03/riesgo-e-incertidumbre/index.html>

## CONTACTO

UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR  
Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres  
[www.ueb.edu.ec](http://www.ueb.edu.ec)  
[ugestionr@ueb.edu.ec](mailto:ugestionr@ueb.edu.ec)  
0963 111600



«REDULAC / RRD»  
RED UNIVERSITARIA DE LINGÜÍSTICA Y EL CARIÓN PARA LA REDUCCIÓN DE RIESGO DE DESASTRES  
**Capítulo Ecuador**

**UGR**  
**Unidad de Gestión de Riesgos**  
UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR