

## Gestión del riesgo. Técnicas de evaluación del riesgo

---

E: Risk management. Risk assessment techniques

**CORRESPONDENCIA:** esta norma es una adopción idéntica (IDT) por traducción de la norma IEC/ISO 31010:2019.

**DESCRIPTORES:** gestión; riesgo; incertidumbre; valoración - riesgo.

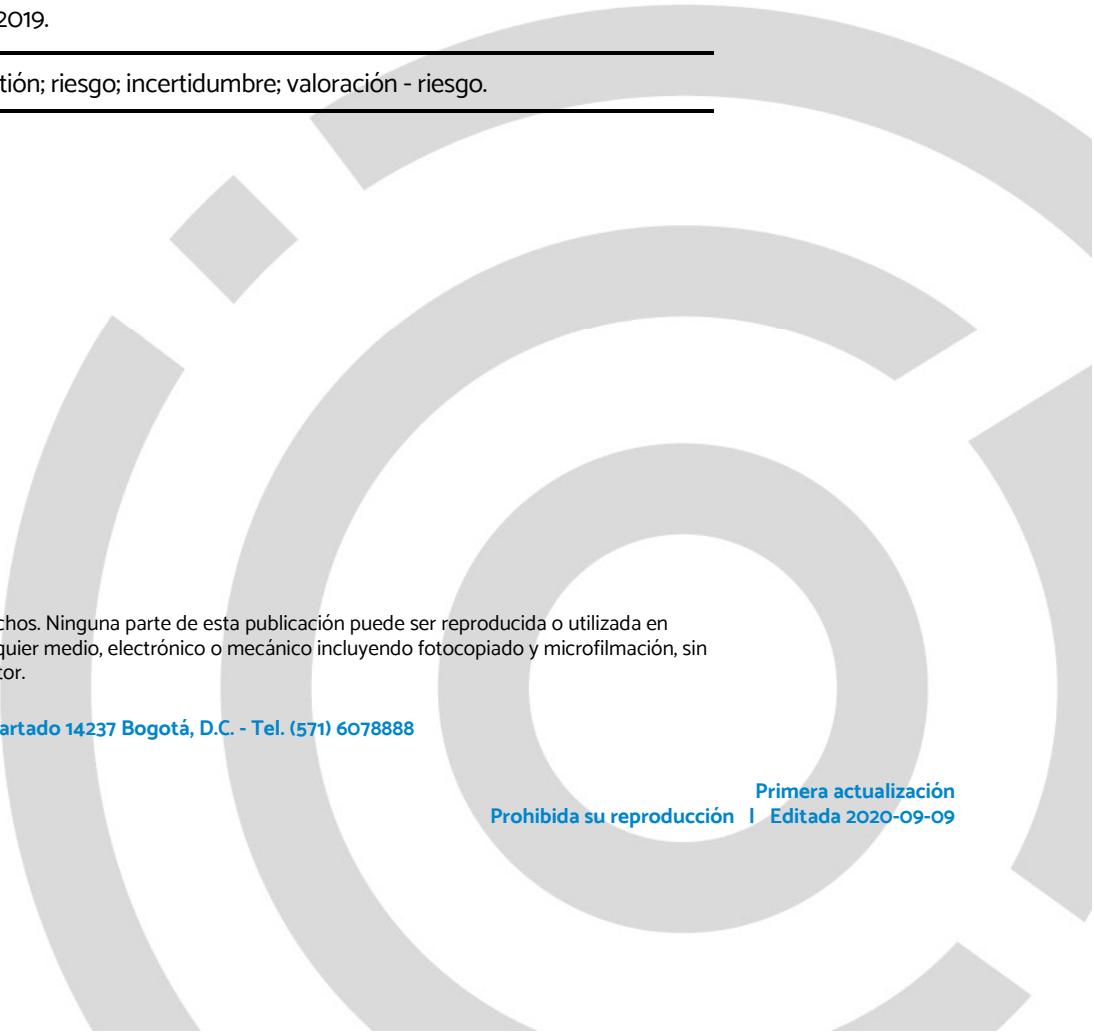
---

I.C.S.: 03.100.01

© ICONTEC 2020

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o utilizada en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico incluyendo fotocopiado y microfilmación, sin permiso por escrito del editor.

Editada por ICONTEC. Apartado 14237 Bogotá, D.C. - Tel. (571) 6078888



Prohibida su reproducción | Primera actualización  
Primera actualización | Editada 2020-09-09



## PRÓLOGO

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, **ICONTEC**, es el organismo nacional de normalización, según el Decreto 1595 de 2015.

**ICONTEC** es una entidad de carácter privado, sin ánimo de lucro, cuya Misión es fundamental para brindar soporte y desarrollo al productor y protección al consumidor. Colabora con el sector gubernamental y apoya al sector privado del país, para lograr ventajas competitivas en los mercados interno y externo.

La representación de todos los sectores involucrados en el proceso de Normalización Técnica está garantizada por los Comités Técnicos y el período de Consulta Pública, este último caracterizado por la participación del público en general.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos elementos de este documento pueden ser objeto de derechos de patente. **ICONTEC** no asume la responsabilidad por la identificación de dichas patentes, o por la documentación que se haya aportado que goza de esta protección legal.

La norma NTC-IEC/ISO 31010 (Primera actualización) fue elaborada por el CTN 32 Gestión del Riesgo y ratificada por el Consejo Directivo de 2020-09-09.

Este documento está sujeto a ser revisado en cualquier momento con el objeto de que responda a las necesidades y exigencias actuales. Se invita a los usuarios de este documento a presentar sus solicitudes de revisión a **ICONTEC**; sus comentarios serán puestos a consideración del comité técnico responsable del estudio de este tema.

**ICONTEC** cuenta con un Centro de Información que pone a disposición de los interesados normas internacionales, regionales y nacionales y otros documentos relacionados.

## DIRECCIÓN DE NORMALIZACIÓN

## CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>i</b>
<b>1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REFERENCIAS NORMATIVAS .....</b>	<b>1</b>
<b>3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES .....</b>	<b>1</b>
<b>4. CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>2</b>
<b>4.1 Incertidumbre .....</b>	<b>2</b>
<b>4.2 Riesgo .....</b>	<b>3</b>
<b>5. USOS DE LAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO .....</b>	<b>4</b>
<b>6. IMPLEMENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO.....</b>	<b>6</b>
<b>6.1 Planificación de la evaluación .....</b>	<b>6</b>
<b>6.2 Gestión de la información y desarrollo de modelos.....</b>	<b>10</b>
<b>6.3 Aplicación de técnicas de evaluación del riesgo.....</b>	<b>14</b>
<b>6.4 Revisión del análisis.....</b>	<b>22</b>
<b>6.5 Aplicación de resultados para apoyar las decisiones.....</b>	<b>24</b>
<b>6.6 Registro e informe del proceso de evaluación del riesgo y sus resultados .....</b>	<b>26</b>

Página

7.	<b>SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO .....</b>	27
7.1	<b>Generalidades .....</b>	27
7.2	<b>Selección de técnicas.....</b>	27
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	150
	<b>DOCUMENTO DE REFERENCIA.....</b>	157
	<b>ANEXOS</b>	
	<b>ANEXO A (Informativo)</b>	
	<b>CATEGORIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS .....</b>	30
	<b>ANEXO B (Informativo)</b>	
	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS .....</b>	44

## INTRODUCCIÓN

Este documento proporciona orientación sobre la selección y aplicación de diversas técnicas que se pueden utilizar para ayudar a mejorar la forma en que se tiene en cuenta la incertidumbre y para ayudar a comprender el riesgo.

Las técnicas se utilizan:

- donde se requiere una mayor comprensión acerca de qué riesgo existe o acerca de un riesgo en particular;
- en una decisión en la que una serie de opciones, cada una con sus riesgos, necesita ser comparada u optimizada;
- en un proceso de gestión de riesgos que conduzca a acciones para tratar el riesgo.

Las técnicas se utilizan en las etapas de evaluación del riesgo para identificar, analizar y valorar los riesgos descritos en la NTC-ISO 31000 y, en general, siempre que sea necesario comprender la incertidumbre y sus efectos.

Las técnicas descritas en este documento se pueden utilizar en una amplia gama de escenarios, aunque la mayoría proviene del dominio técnico. Algunas técnicas son similares en cuanto a su concepto, pero tienen diferentes nombres y metodologías que reflejan la historia de su desarrollo en diferentes sectores. Las técnicas han evolucionado con el tiempo y continúan evolucionando, y muchas se pueden utilizar en una amplia gama de situaciones fuera de su aplicación original. Las técnicas se pueden adaptar, combinar y aplicar de nuevas maneras o ampliarse para satisfacer las necesidades actuales y futuras.

Este documento es una introducción a las técnicas seleccionadas y compara sus posibles aplicaciones, beneficios y limitaciones. También proporciona referencias a fuentes de información más detallada.

El público potencial para este documento es:

- cualquier persona involucrada en la evaluación o gestión de riesgos;
- las personas que participan en la elaboración de guías que establecen cómo se debe evaluar el riesgo en contextos específicos;
- las personas que necesitan tomar decisiones donde hay incertidumbre, entre ellas:
  - quienes encargan o valoran las evaluaciones de riesgos,

- quienes necesitan entender los resultados de las evaluaciones, y
- quienes tienen que elegir técnicas de evaluación para satisfacer necesidades particulares.

Las organizaciones que deben realizar evaluaciones de riesgos con fines de cumplimiento o de conformidad, se beneficiarían de la utilización de técnicas de evaluación del riesgo adecuadas, normalizadas y formales.

## **GESTIÓN DEL RIESGO. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO**

### **1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma proporciona orientación sobre la selección y aplicación de técnicas para evaluar el riesgo en una amplia gama de situaciones. Las técnicas se utilizan para ayudar en la toma de decisiones donde hay incertidumbre, para proporcionar información sobre riesgos particulares y como parte de un proceso de gestión de riesgos. El documento proporciona resúmenes de una variedad de técnicas, con referencias a otros documentos en los que se describen las técnicas en forma más detallada.

### **2. REFERENCIAS NORMATIVAS**

Los siguientes documentos se mencionan en el texto de tal manera que una parte o la totalidad de su contenido constituye requisitos de este documento. Para las referencias fechadas solo se aplica la edición citada. Para las referencias no fechadas se aplica la edición más reciente del documento referenciado (incluida cualquier enmienda).

GTC 137, Gestión del riesgo. Vocabulario (ISO Guide 73:2009).

NTC-ISO 31000:2018, Gestión del riesgo. Directrices

### **3. TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

Para los propósitos del presente documento, los términos y definiciones que figuran en la norma NTC-ISO 31000, en la GTC 137 y los siguientes se aplican.

ISO e IEC mantienen bases de datos terminológicas para su uso en normalización, en las siguientes direcciones:

IEC Electropedia: disponible en <http://www.electropedia.org/>

Plataforma de navegación ISO en línea: disponible en <http://www.iso.org/obp>

**3.1 posibilidad (*likelihood*).** Potencial de que algo suceda.

NOTA 1 a la entrada En la terminología de la gestión de riesgos, la palabra "posibilidad" (*likelihood*) se utiliza para referirse al potencial de que algo ocurra, ya sea definido, medido o determinado objetiva o subjetivamente, cualitativa o cuantitativamente, y se describe utilizando términos generales o matemáticos (como probabilidad o frecuencia en un período de tiempo determinado).

NOTA 2 a la entrada El término inglés "*likelihood*" (posibilidad) no tiene un equivalente directo en algunos idiomas; en su lugar, se suele utilizar el equivalente del término "*probability*" (probabilidad). Sin embargo, en inglés, "*probability*" (probabilidad) se interpreta a menudo de forma restrictiva como un término matemático. Por lo tanto, en la terminología de gestión de riesgos, el término "posibilidad" (*likelihood*) se utiliza con la intención de que tenga la misma interpretación amplia que el término "probabilidad" (*probability*) en muchos otros idiomas además del inglés.

[FUENTE: ISO 31000:2018, numeral 3.7]

**3.2 oportunidad (*opportunity*).** Combinación de circunstancias que se espera que sean favorables a los objetivos.

NOTA 1 a la entrada Una oportunidad es una situación positiva en la que es posible que haya ganancia y sobre la que hay un nivel de control razonable.

NOTA 2 a la entrada Una oportunidad para una de las partes puede representar una amenaza para otra.

NOTA 3 a la entrada Tomar o no tomar una oportunidad son ambas fuentes de riesgo.

**3.3 probabilidad (*probability*).** Medida del potencial de ocurrencia expresada como un número entre 0 y 1, donde 0 es la imposibilidad y 1 es certeza absoluta.

NOTA 1 a la entrada Véase la definición 3.1, nota 2 a la entrada.

**3.4 factor de riesgo (*risk driver/driver of risk*).** Factor que tiene influencia importante en el riesgo.**3.5 amenaza (*threat*).** Fuente potencial de peligro, daño u otro resultado indeseable.

NOTA 1 a la entrada Una amenaza es una situación negativa en la que es posible que se produzcan pérdidas y sobre la que se tiene relativamente poco control.

NOTA 2 a la entrada Una amenaza para una parte puede representar una oportunidad para otra.

## 4. CONCEPTOS BÁSICOS

### 4.1 Incertidumbre

La incertidumbre es un término que abarca muchos conceptos subyacentes. Se han hecho y se siguen haciendo muchos intentos para categorizar los tipos de incertidumbre, entre ellos:

- incertidumbre que reconoce la variabilidad intrínseca de algunos fenómenos, y que no se puede reducir mediante investigaciones posteriores; por ejemplo, lanzar los dados (que a veces se denomina incertidumbre aleatoria);
- incertidumbre que generalmente proviene de la falta de conocimientos y que por lo tanto se puede reducir mediante la recopilación de más datos, el perfeccionamiento de los modelos, la mejora de las técnicas de muestreo, etc. (a veces se denomina incertidumbre epistémica).

Otras formas de incertidumbre reconocidas comúnmente incluyen:

- la incertidumbre lingüística, que reconoce la vaguedad y la ambigüedad inherentes a las lenguas habladas;
- la incertidumbre en la toma de decisiones, que tiene especial relevancia para las estrategias de gestión de riesgos, y que identifica la incertidumbre asociada con los sistemas de valores, el criterio profesional, los valores de la empresa y las normas sociales.

Los ejemplos de incertidumbre incluyen:

- la incertidumbre en cuanto a la verdad de las hipótesis, incluidas las presunciones acerca de cómo podrían comportarse las personas o los sistemas;
- la variabilidad de los parámetros en los que debe basarse una decisión;
- la incertidumbre en la validez o exactitud de los modelos que se han establecido para hacer predicciones sobre el futuro;
- los eventos (incluidos los cambios en circunstancias o condiciones) cuya ocurrencia, carácter o consecuencias son inciertas;
- la incertidumbre asociada a eventos perturbadores;
- los resultados inciertos de cuestiones sistémicas, como la escasez de personal competente, que pueden tener efectos de gran alcance que no se pueden definir con claridad;
- la falta de conocimiento que surge cuando se reconoce la incertidumbre, pero no se comprende completamente;
- la impredecibilidad;
- la incertidumbre derivada de las limitaciones de la mente humana, por ejemplo, para comprender datos complejos, predecir situaciones con consecuencias a largo plazo o para hacer juicios imparciales.

No es posible comprender la incertidumbre en su totalidad, y la importancia de ella puede ser difícil o imposible de definir o influenciar. Sin embargo, al reconocer que existe incertidumbre en un contexto específico es posible establecer sistemas de alerta temprana para detectar el cambio de manera proactiva y oportuna y tomar medidas destinadas a crear resiliencia para hacer frente a circunstancias inesperadas.

## 4.2 Riesgo

El riesgo incluye los efectos de cualquiera de las formas de incertidumbre descritas en el numeral 4.1 sobre los objetivos. La incertidumbre puede tener consecuencias positivas o negativas, o ambas.

El riesgo se describe a menudo en términos de fuentes de riesgo, eventos potenciales, sus consecuencias y sus posibilidades. Un evento puede tener múltiples causas y llevar a múltiples consecuencias. Las consecuencias pueden tener un número de valores discretos, ser variables

continuas o desconocidas, pueden no ser discernibles o medibles al principio, pero pueden acumularse con el tiempo. Las fuentes de riesgo pueden incluir la variabilidad inherente o las incertidumbres relacionadas con una serie de factores, entre ellos el comportamiento humano y las estructuras organizativas o las influencias sociales, para los que puede ser difícil predecir cualquier evento en particular que podría ocurrir. De ello se deduce que el riesgo no siempre puede tabularse fácilmente como un conjunto de eventos, sus consecuencias y sus posibilidades.

Las técnicas de evaluación del riesgo tienen por objeto ayudar a las personas a comprender la incertidumbre y el riesgo asociado en este contexto amplio, complejo y diverso, con el fin de apoyar decisiones y acciones mejor informadas.

## 5. USOS DE LAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO

Las técnicas descritas en este documento proporcionan un medio para mejorar la comprensión de la incertidumbre y sus implicaciones para las decisiones y las acciones.

La NTC-ISO 31000 describe los principios para la gestión del riesgo y los fundamentos y disposiciones organizacionales que permiten la gestión del riesgo. Especifica un proceso que permite reconocer, entender y modificar el riesgo según sea necesario, de acuerdo con los criterios que se establecen como parte del proceso. Las técnicas de evaluación del riesgo se pueden aplicar dentro de este enfoque estructurado, que implica establecer un contexto, evaluar el riesgo y tratarlo, junto con el seguimiento, la revisión, la comunicación y la consulta, el registro y la presentación de informes. Este proceso se ilustra en la Figura A.1, que también presenta ejemplos de dónde pueden aplicarse las técnicas del proceso.

En el proceso de la NTC-ISO 31000, la evaluación del riesgo implica la identificación de los riesgos, su análisis y la utilización de los conocimientos obtenidos del análisis para evaluar los riesgos llegando a conclusiones sobre su importancia comparativa en relación con los objetivos y los umbrales de desempeño de la organización. Este proceso proporciona elementos de entrada para la toma de decisiones sobre la necesidad de tratamiento, las prioridades para el tratamiento y las acciones previstas para tratar el riesgo. En la práctica, se aplica un enfoque iterativo.

Se utilizan las técnicas de evaluación del riesgo descritas en este documento:

- cuando se requiere una mayor comprensión de los riesgos existentes o acerca de un riesgo en particular;
- dentro de un proceso de gestión de riesgos que conduzca a acciones para tratar el riesgo;
- con respecto a una decisión, cuando es necesario comparar u optimizar una serie de opciones que implican riesgos.

En particular, las técnicas se pueden utilizar para:

- suministrar información estructurada como apoyo a las decisiones y acciones cuando exista incertidumbre;
- aclarar las implicaciones de las hipótesis en el logro de los objetivos;

- comparar múltiples opciones, sistemas, tecnologías o enfoques, etc., en los que existe una incertidumbre multifacética en torno a cada opción;
- ayudar a definir objetivos estratégicos y operacionales realistas;
- ayudar a determinar los criterios de riesgo de una organización tales como los límites de riesgo, el apetito de riesgo o la capacidad de soportar riesgos;
- tener en cuenta el riesgo a la hora de establecer o revisar las prioridades;
- reconocer y comprender el riesgo, incluido el riesgo que pueda tener resultados extremos;
- entender qué incertidumbres son las más importantes para los objetivos de una organización y proporcionar una justificación de lo que se debe hacer al respecto;
- reconocer y explotar las oportunidades con más éxito;
- articular los factores que contribuyen al riesgo y por qué son importantes;
- identificar acciones de tratamiento de riesgos eficaces y eficientes;
- determinar el efecto modificador de los tratamientos de riesgo propuestos, incluyendo cualquier cambio en la naturaleza o magnitud del riesgo;
- comunicar sobre el riesgo y sus implicaciones;
- aprender de los éxitos y de los fracasos para mejorar la forma en que se gestionan los riesgos;
- demostrar que se han cumplido los requisitos reglamentarios y de otro tipo.

La forma en que se evalúa el riesgo depende de la complejidad y de la novedad de la situación, y del nivel de conocimiento y comprensión pertinentes.

- En el caso más simple, cuando no hay nada nuevo o inusual en una situación, se comprende bien el riesgo, no hay implicaciones o consecuencias significativas para las partes interesadas, entonces es posible decidir las acciones de acuerdo con reglas y procedimientos establecidos y las evaluaciones previas del riesgo.
- En el caso de cuestiones muy novedosas, complejas o difíciles, en las que existe una gran incertidumbre y poca experiencia, hay poca información sobre la que se pueda basar la evaluación y las técnicas convencionales de análisis podrían no ser útiles o significativas. Esto también se aplica a las circunstancias en las que las partes interesadas tienen puntos de vista muy divergentes. En estos casos, se podrían utilizar múltiples técnicas para obtener una comprensión parcial del riesgo, y luego emitir juicios en el contexto de los valores organizacionales y societarios y de los puntos de vista de las partes interesadas.

Las técnicas descritas en este documento tienen mayor aplicación en situaciones que se encuentren entre estos dos extremos, en donde la complejidad es moderada y se dispone de alguna información en la que se pueda basar la evaluación.

## 6. IMPLEMENTACIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO

### 6.1 Planificación de la evaluación

#### 6.1.1 Definición del propósito y del alcance de la evaluación

Se debería establecer el propósito de la evaluación, incluyendo la identificación de las decisiones o acciones a las que se refiere, los responsables de la toma de decisiones, las partes interesadas y el momento y la naturaleza del elemento de salida requerido (por ejemplo, si se requiere información cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa).

Se debería definir el alcance, la profundidad y el nivel de detalle de la evaluación, con una descripción de lo que se incluye y se excluye. Se deberían definir los tipos de consecuencias que se deben incluir en la evaluación. También se deberían especificar las condiciones, las hipótesis, las limitaciones o los recursos necesarios para la actividad de evaluación.

#### 6.1.2 Comprensión del contexto

Al llevar a cabo una evaluación del riesgo, los participantes deberían ser conscientes de las circunstancias más amplias en las que se tomarán las decisiones y se llevarán a cabo acciones basadas en su evaluación. Esto incluye la comprensión de las cuestiones internas y externas que contribuyen al contexto de la organización, así como de los aspectos sociales y ambientales más amplios. Cualquier declaración de contexto pertinente debería ser revisada y verificada para determinar si está vigente y es apropiada. Comprender el panorama general es particularmente importante cuando existe una complejidad significativa.

#### 6.1.3 Compromiso con las partes interesadas

Se debería identificar a las partes interesadas y a aquellos que probablemente puedan aportar conocimientos útiles o puntos de vista pertinentes y considerar sus perspectivas, independientemente de que se les incluya o no como participantes en la evaluación. La participación adecuada de las partes interesadas contribuye a garantizar que la información en la que se basa la evaluación del riesgo sea válida y aplicable y que las partes interesadas comprendan las razones de las decisiones. La participación de las partes interesadas puede:

- proporcionar información que posibilite comprender el contexto de la evaluación;
- reunir diferentes áreas de conocimientos y experiencia para identificar y comprender los riesgos con mayor eficacia;
- proporcionar los conocimientos y la experiencia pertinentes para el uso de las técnicas;
- permitir que los intereses de las partes interesadas sean comprendidos y considerados;
- proporcionar elementos de entrada al proceso de determinar si el riesgo es aceptable, en particular cuando las partes interesadas se ven afectadas;
- cumplir todos los requisitos para que las personas sean informadas o consultadas;

- obtener apoyo para los elementos de salida y las decisiones que surjan de la evaluación del riesgo;
- identificar los vacíos de conocimiento que es necesario abordar antes y/o durante la evaluación del riesgo.

Es recomendable decidir cómo se comunicarán de manera fiable, precisa y transparente los elementos de salida y los resultados de la evaluación del riesgo a las partes interesadas pertinentes.

En el literal B.1 se describen las técnicas para obtener las opiniones de las partes interesadas y de los expertos.

#### **6.1.4 Definición de objetivos**

Se deberían definir los objetivos del sistema o proceso específico para el que se va a evaluar el riesgo y, en la medida de lo posible, documentarse. Esto facilitará la identificación del riesgo y la comprensión de sus implicaciones.

En la medida de lo posible, los objetivos deberían ser:

- específicos para el tema de la evaluación;
- medibles cualitativa o cuantitativamente;
- alcanzables dentro de las limitaciones impuestas por el contexto;
- pertinentes para las metas o un contexto más amplios de la organización;
- alcanzables dentro de un plazo de tiempo establecido.

#### **6.1.5 Consideración de los factores humanos, organizacionales y sociales**

Los factores humanos, organizacionales y sociales se deberían considerar explícitamente y tener en cuenta según sean apropiados. Los aspectos humanos son pertinentes para la evaluación del riesgo de las siguientes maneras:

- como fuente de incertidumbre;
- por medio de influencias en la forma en que se seleccionan y aplican las técnicas;
- en las formas en que se interpreta y utiliza la información (por ejemplo, debido a las diferentes percepciones del riesgo).

El desempeño humano (ya sea superior o inferior a las expectativas) es una fuente de riesgo y también puede afectar la eficacia de los controles. Al evaluar el riesgo se debería considerar específicamente la posibilidad de desviarse de los comportamientos esperados o supuestos. Las consideraciones sobre el desempeño humano a menudo son complejas y puede ser necesario contar con la asesoría de expertos para identificar y analizar los aspectos humanos del riesgo.

Los factores humanos también influyen en la selección y el uso de las técnicas, especialmente cuando hay que emitir juicios o cuando se utilizan enfoques de equipo. Para minimizar estas influencias es necesario contar con habilidades específicas. Es conveniente abordar sesgos tales como el pensamiento de grupo y el exceso de confianza (por ejemplo, en las estimaciones o las percepciones). Siempre que sea posible, la opinión de los expertos se debería basar en evidencias y datos y se deberían hacer esfuerzos para evitar o reducir al mínimo los sesgos cognitivos.

Los objetivos y valores personales de los seres humanos pueden variar y diferir de los de la organización. Esto puede dar como resultado diferentes percepciones sobre el nivel de riesgo y diferentes criterios mediante los cuales los individuos toman sus decisiones. Una organización se debería esforzar por lograr un entendimiento común del riesgo internamente y tener en cuenta las diferentes percepciones de las partes interesadas.

Los aspectos sociales, como la posición socioeconómica, la raza, la etnia y la cultura, el género, las relaciones sociales y el contexto residencial y comunitario pueden afectar el riesgo tanto directa como indirectamente. Los impactos pueden ser a largo plazo y no ser visibles inmediatamente, y pueden requerir una perspectiva de planificación a largo plazo.

### **6.1.6 Criterios de revisión de las decisiones**

#### **6.1.6.1 Generalidades**

Los criterios, incluidos los criterios de riesgo que se deben tener en cuenta a la hora de tomar decisiones, se deberían revisar antes de llevar a cabo la evaluación. Los criterios pueden ser cualitativos, semicuantitativos o cuantitativos. En algunos casos podrían no especificarse criterios explícitos y las partes interesadas utilizan su juicio para responder a los resultados del análisis.

Los criterios pertinentes para la revisión son:

- cómo se decidirá si el riesgo es aceptable;
- cómo se determinará la importancia relativa de los riesgos;
- cómo se tendrá en cuenta el riesgo en las decisiones sobre las opciones, cuando cada opción está asociada a múltiples riesgos que podrían tener consecuencias positivas o negativas, o ambas cosas;
- cómo se tendrán en cuenta las relaciones entre los riesgos.

#### **6.1.6.2 Criterios para decidir si el riesgo puede ser aceptado**

Los criterios para definir la naturaleza y el alcance de un riesgo que puede aceptarse para la consecución de los objetivos, que en ocasiones se denominan apetito de riesgo, se pueden definir especificando una técnica para determinar la magnitud del riesgo, o un parámetro relacionado con el riesgo, junto con un límite más allá del cual el riesgo se vuelve inaceptable. El límite establecido para el riesgo adverso inaceptable puede depender de los beneficios potenciales.

La aceptabilidad del riesgo también se puede definir especificando la variación aceptable de las medidas de desempeño específicas vinculadas a los objetivos.

Podrían especificarse diferentes criterios según el tipo de consecuencia. Por ejemplo, los criterios de una organización para aceptar un riesgo financiero pueden ser diferentes de los definidos para un riesgo con respecto a la vida humana.

Los siguientes son ejemplos de consideraciones utilizadas al definir si el riesgo puede ser aceptado.

- Capacidad de tolerancia al riesgo (RBC) (también llamada capacidad de riesgo): La RBC de una organización se define generalmente en términos de capital de riesgo, que está disponible para absorber los efectos adversos de los riesgos. En el caso de una empresa comercial, la capacidad podría especificarse en función de la capacidad máxima de retención cubierta por los activos, o de la mayor pérdida financiera que la empresa podría soportar sin tener que declararse en quiebra. La RBC estimada se debería poner a prueba razonablemente en escenarios de pruebas de tensión para proporcionar un nivel de confianza fiable. El apetito de riesgo de una organización refleja la voluntad de la Dirección para utilizar su RBC.
- ALARP/ALARA y SFAIRP: En algunas jurisdicciones, los criterios aprobados por la ley para la toma de decisiones sobre el tratamiento de riesgos relacionados con la seguridad implican garantizar que el riesgo de lesión o mala salud sea "tan bajo como sea razonablemente viable" (ALARP), "tan bajo como sea razonablemente alcanzable" (ALARA) o demostrar que los controles minimizan el riesgo "siempre y cuando sea razonablemente viable" (SFAIRP) (véase B.8.2).
- Globalmente al menos equivalente" (GALE) [*globalement au moins équivalent (GAME)*[1]]: se considera aceptable que los riesgos con consecuencias adversas de una fuente particular aumenten si se puede demostrar que los riesgos de otras fuentes han disminuido una cantidad equivalente o mayor.
- Criterios de costo/beneficio, como por ejemplo, el precio por vida salvada o el retorno de la inversión (ROI).

#### 6.1.6.3 Criterios para valorar la importancia del riesgo

Los criterios de riesgo (los términos de referencia a partir de los cuales se determina la importancia del riesgo) se pueden expresar en términos que involucren cualquiera de las características y medidas de riesgo presentadas en los numerales 6.3.5 y 6.3.7. También pueden ser pertinentes las consideraciones éticas, culturales, legales, sociales, reputacionales, ambientales, contractuales, financieras y de otro tipo.

Una valoración de la importancia de un riesgo en comparación con otros riesgos se basa a menudo en una estimación de la magnitud del riesgo en comparación con criterios que están relacionados directamente con los umbrales establecidos en torno a los objetivos de la organización. La comparación con estos criterios puede informar a una organización sobre los riesgos en los que se debería enfocar para su tratamiento, basándose en su potencial para lograr resultados por fuera de los umbrales establecidos en torno a los objetivos.

La magnitud del riesgo rara vez es el único criterio pertinente para tomar decisiones sobre la importancia del riesgo. Otros factores pertinentes pueden incluir la sostenibilidad (por ejemplo, el triple resultado) y la resiliencia, los criterios éticos y legales, la eficacia de los controles, el impacto

máximo si no hay controles presentes o si fallan, el momento en que ocurren las consecuencias, los costos de los controles y los puntos de vista de las partes interesadas.

Las técnicas para valorar la importancia del riesgo se describen en el literal B.8.

#### **6.1.6.4 Criterios para decidir entre opciones**

Una organización se enfrentará a muchas decisiones en las que se pueden ver afectados varios objetivos en conflicto, y se deben considerar tanto los posibles resultados adversos como los posibles beneficios. Para este tipo de decisiones podría ser necesario cumplir varios criterios y buscar soluciones intermedias entre los objetivos en conflicto. Se deberían identificar los criterios relevantes a la decisión y se debería decidir y justificar la forma en que se ponderarán los criterios o se buscarán soluciones intermedias, y la información se debería registrar y compartir. Al establecer los criterios, se debería considerar la posibilidad de que los costos y los beneficios sean diferentes para las distintas partes interesadas. Se debería decidir la forma en que se deben tener en cuenta las distintas formas de incertidumbre.

Las técnicas del literal B.9 abordan la selección entre las opciones.

### **6.2 Gestión de la información y desarrollo de modelos**

#### **6.2.1 Generalidades**

Antes y durante la evaluación del riesgo, se debería obtener la información pertinente. Esta información constituye una entrada al análisis estadístico, a los modelos o a las técnicas descritas en los Anexos A y B. En algunos casos, los responsables de la toma de decisiones pueden utilizar la información sin necesidad de realizar análisis posteriores.

La información necesaria en cada punto depende de los resultados de la recopilación de información previa, del propósito y del alcance de la evaluación, y del método o métodos que se deben utilizar para el análisis. Se debería decidir la manera en que la información debe ser recolectada, almacenada y puesta a disposición.

Se debería decidir cuáles registros de los elementos de salida de la evaluación se van a mantener, junto con la forma en que dichos registros se van a hacer, almacenar, actualizar y suministrar a quienes los necesiten. Siempre se deberían indicar las fuentes de información.

#### **6.2.2 Recopilación de información**

La información se puede obtener de fuentes tales como revisiones de la literatura, observaciones y opiniones de expertos. Los datos se pueden recopilar u obtener, por ejemplo, de mediciones, experimentos, entrevistas y encuestas.

Habitualmente, los datos representan directa o indirectamente pérdidas o beneficios pasados. Algunos ejemplos son: fracasos o éxitos de proyectos, el número de quejas, las ganancias o las pérdidas financieras, los impactos para la salud, lesiones y víctimas, etc. También puede haber información adicional disponible, como las causas de los fracasos o éxitos, las fuentes de las quejas, la naturaleza de las lesiones, etc. Los datos también pueden incluir los elementos de salida de los modelos u otras técnicas de análisis.

Se deberían tomar decisiones acerca de:

- la fuente de información y su confiabilidad;
- el tipo (por ejemplo, si es cualitativo, cuantitativo o ambos (véase 6.3.7.1));
- el nivel (por ejemplo, estratégico, táctico, operacional);
- la cantidad y la calidad de los datos necesarios;
- la metodología de recopilación;
- el nivel de confidencialidad.

Cuando los datos que se deban analizar se obtengan por muestreo, se debería indicar la confianza estadística requerida, de manera que se recopilen suficientes datos. En los casos en que no se necesite un análisis estadístico, esto se debería indicar.

Si se dispone de datos o resultados de evaluaciones previas, en primer lugar, se debería determinar si ha habido algún cambio en el contexto y, en caso afirmativo, si los datos o resultados previos siguen siendo pertinentes.

La validez, la confiabilidad y las limitaciones de cualquier información que se utilice en la evaluación se deberían evaluar teniendo en cuenta:

- la edad y la pertinencia de la información;
- la fuente de información y los métodos utilizados para recopilarla;
- las incertidumbres y vacíos de información;
- la autoridad o procedencia de la información, conjuntos de datos, algoritmos y modelos.

### 6.2.3 Análisis de datos

El análisis de los datos puede proporcionar:

- comprensión de las consecuencias pasadas y su posibilidad para aprender de la experiencia;
- tendencias y patrones, incluidas las periodicidades, que proporcionan una indicación de lo que podría influir en el futuro;
- correlaciones que pueden dar indicaciones de posibles relaciones causales para validación posterior.

Es conveniente identificar y entender las limitaciones e incertidumbres en los datos.

No se puede suponer que los datos del pasado sigan aplicándose en el futuro, pero sí pueden dar una indicación a los responsables de la toma de decisiones acerca de lo que es más o menos posible que ocurra en el futuro.

## 6.2.4 Desarrollo y aplicación de modelos

### 6.2.4.1 Generalidades

Un modelo es una representación aproximada de la realidad. Su propósito es transformar lo que podría ser una situación intrínsecamente compleja en términos más sencillos que se puedan analizar más fácilmente. Se puede utilizar para ayudar a comprender el significado de los datos y para simular lo que podría ocurrir en la práctica bajo diferentes condiciones. Un modelo puede ser físico, puede estar representado en software o ser un conjunto de relaciones matemáticas.

El modelado incluye generalmente los siguientes pasos:

- descripción del problema;
- descripción del propósito de construir un modelo y los resultados deseados;
- desarrollo de un modelo conceptual del problema;
- construcción de una representación física, software o representación matemática del modelo conceptual;
- desarrollo de software o de otras herramientas para analizar el comportamiento del modelo;
- procesamiento de datos;
- validación o calibración del modelo mediante la revisión de los elementos de salida en situaciones conocidas;
- obtención de conclusiones en el modelo sobre el problema del mundo real.

Cada una de estas etapas puede implicar aproximaciones, hipótesis y juicios de expertos y (si es posible) deberían ser validadas por personas independientes de los desarrolladores. Las hipótesis críticas se deberían revisar con respecto a la información disponible, con el fin de evaluar su credibilidad.

Para lograr resultados confiables al utilizar los modelos, se debería validar lo siguiente:

- el modelo conceptual representa adecuadamente la situación que se evalúa;
- el modelo se está utilizando dentro de los límites contextuales para los que fue diseñado;
- los conceptos teóricos subyacentes al modelo y los cálculos asociados se comprenden bien;
- la selección de parámetros y representaciones matemáticas de los conceptos es correcta;
- las matemáticas subyacentes a los cálculos se comprenden bien;
- los datos de entrada son exactos y confiables, o la naturaleza del modelo tiene en cuenta la confiabilidad de los datos de entrada utilizados;

- el modelo funciona según lo planeado, sin errores internos ni errores de informática;
- el modelo es estable y no es demasiado sensible a pequeños cambios en los elementos de entrada clave;

Esto puede lograrse mediante:

- un análisis de sensibilidad para comprobar que tan sensible es el modelo a los cambios en los parámetros de entrada;
- pruebas de estrés del modelo con escenarios particulares, a menudo escenarios extremos;
- comparación de los elementos de salida con los datos anteriores (distintos de aquellos a partir de los cuales se desarrollaron);
- verificación que resultados similares son obtenidos cuando el modelo es ejecutado por personas diferentes;
- comprobación de los elementos de salida en relación con el desempeño real.

Se debería mantener documentación completa del modelo y de las teorías e hipótesis en los que se basa, suficiente para permitir la validación del modelo.

#### 6.2.4.2 Uso de software de análisis

Los programas informáticos pueden utilizarse para representar y organizar datos o para analizarlos. Los programas informáticos utilizados para el modelado y el análisis proporcionan a menudo una interfaz de usuario sencilla y un elemento de salida rápido, pero estas características pueden conducir a resultados no válidos que pasan desapercibidos para el usuario. Los resultados no válidos pueden presentarse debido a:

- deficiencias en los algoritmos utilizados para representar la situación;
- hipótesis formuladas en el diseño y uso del modelo subyacente al software;
- errores en la entrada de datos, incluidas las equivocaciones sobre su significado;
- cuestiones de conversión de datos cuando se utiliza un software nuevo;
- interpretación deficiente de los elementos de salida.

A menudo, el software comercial es una caja negra (secreto comercial) que podría contener cualquiera de estos errores.

El nuevo software debe probarse utilizando un modelo simple con entradas que tengan una salida conocida, antes de avanzar para probar modelos más complejos. los detalles de las pruebas se deberían conservar para su uso en futuras actualizaciones de las versiones o para nuevos programas de análisis de software.

Los errores en el modelo construido se pueden comprobar aumentando o disminuyendo un valor de entrada para determinar si el elemento de salida responde de la forma esperada. Esto se puede

aplicar a cada uno de los distintos elementos de entrada. Los errores de entrada de datos se identifican con frecuencia cuando se modifican las entradas de datos. Este enfoque también proporciona información sobre la sensibilidad del modelo a las variaciones de los datos.

Se recomienda comprender bien las matemáticas pertinentes al análisis particular y así evitar conclusiones erróneas. No solo son probables los errores ya mencionados, sino que también la selección de un programa en particular podría no ser apropiada. Es fácil utilizar un programa y suponer que la respuesta será correcta. Se debería reunir evidencia para comprobar que los elementos de salida son razonables.

### 6.3 Aplicación de técnicas de evaluación del riesgo

#### 6.3.1 Descripción general

Las técnicas descritas en los Anexos A y B se utilizan para desarrollar comprensión acerca del riesgo, como entrada para las decisiones cuando haya incertidumbre, incluyendo las decisiones sobre si tratar el riesgo y cómo hacerlo.

Se pueden utilizar técnicas de evaluación para:

- identificar el riesgo (véase el numeral 6.3.2);
- determinar las causas, las fuentes y los factores de riesgo, así como el nivel de exposición a ellos (véase el numeral 6.3.3);
- investigar la eficacia general de los controles y modificar el efecto de los tratamientos de riesgo propuestos (véase el numeral 6.3.4);
- comprender las consecuencias y la posibilidad (véase el numeral 6.3.5);
- analizar las interacciones y las dependencias (véase el numeral 6.3.6);
- proporcionar una medida del riesgo (véase el numeral 6.3.7).

Los factores que se deben considerar al seleccionar una técnica en particular para estas actividades se describen en el numeral 7.

En general, el análisis puede ser descriptivo (puede ser un informe de una revisión de la literatura, un análisis de escenario o una descripción de las consecuencias) o cuantitativo, en el cual se analizan los datos para obtener valores numéricos. En algunos casos, se pueden aplicar escalas de calificación para comparar riesgos particulares.

La forma en que se evalúa el riesgo y la forma del elemento de salida debería ser compatible con cualquier criterio definido. Por ejemplo, los criterios cuantitativos requieren una técnica de análisis cuantitativo que produzca un resultado con las unidades apropiadas.

Las operaciones matemáticas solo se deberían utilizar si las métricas escogidas lo permiten. En general, las operaciones matemáticas no se deberían utilizar con escalas ordinales. Incluso con un análisis totalmente cuantitativo, los valores de entrada suelen ser estimaciones. No se debería atribuir un nivel de exactitud y precisión a los resultados más allá de lo que sea consistente con los datos y los métodos empleados.

### 6.3.2 Identificación del riesgo

La identificación del riesgo posibilita tener en cuenta explícitamente la incertidumbre. Todas las fuentes de incertidumbre y los efectos tanto beneficiosos como perjudiciales podrían ser pertinentes, dependiendo del contexto y del alcance de la evaluación.

Las técnicas para identificar el riesgo suelen utilizar los conocimientos y la experiencia de diversas partes interesadas (véase el literal B.1.1). Estas técnicas incluyen considerar:

- qué incertidumbre existe y cuáles podrían ser sus efectos;
- qué circunstancias o cuestiones (tangibles o intangibles) pueden tener consecuencias en el futuro;
- qué fuentes de riesgo están presentes o se podrían desarrollar;
- qué controles existen y si son eficaces;
- qué eventos y consecuencias podrían ocurrir, y cómo, cuándo, dónde y por qué razón;
- qué ha ocurrido en el pasado y cómo esto podría relacionarse razonablemente con el futuro;
- qué aspectos humanos y factores organizacionales podrían aplicarse.

Las encuestas físicas también pueden ser útiles para identificar fuentes de riesgo o señales de alerta temprana de consecuencias potenciales.

El elemento de salida de la identificación de riesgos se puede registrar como una lista de riesgos con eventos, causas y consecuencias especificadas, o por medio de otros formatos adecuados.

Independientemente de las técnicas que se utilicen, la identificación de riesgos se debería abordar en una forma metódica e iterativa para que sea completa y eficiente. El riesgo se debería identificar en una etapa suficientemente temprana para permitir que se emprendan acciones siempre que sea posible. Sin embargo, hay ocasiones en las que no es posible identificar algunos riesgos durante una evaluación del riesgo. Por lo tanto, se debería establecer un mecanismo para detectar los riesgos emergentes y reconocer las señales de alerta tempranas acerca de posibles éxitos o fracasos.

Las técnicas de identificación del riesgo se describen en el literal B.2.

### 6.3.3 Determinación de fuentes, causas y factores de riesgo

La identificación de las causas, las fuentes y los factores de riesgo pueden:

- contribuir a estimar la posibilidad de un evento o consecuencia;
- ayudar a identificar los tratamientos que modificarán el riesgo;
- ayudar a determinar las señales de alerta tempranas y sus umbrales de detección;

- determinar las causas comunes que pueden ayudar a desarrollar prioridades para el tratamiento del riesgo.

Las fuentes de riesgo pueden incluir eventos, decisiones, acciones y procesos, tanto favorables como desfavorables, así como situaciones que se sabe que existen, pero cuyos resultados son inciertos. Cualquier forma de incertidumbre descrita en el numeral 4.1 puede ser una fuente de riesgo.

Los eventos y las consecuencias pueden tener múltiples causas o cadenas causales.

A menudo, el riesgo solo se puede controlar modificando los factores de riesgo, los cuales influyen en el estado y desarrollo de las exposiciones al riesgo, y con frecuencia afectan a más de un riesgo. Como resultado, es necesario prestar mayor atención a los factores de riesgo que a las fuentes de los riesgos individuales.

Las técnicas para determinar las fuentes, las causas y los factores de riesgo se describen en el literal B.3.

#### **6.3.4 Investigación de la eficacia de los controles existentes**

El riesgo se ve afectado por la eficacia general de cualquier control establecido. Se deberían tener en cuenta los siguientes aspectos de los controles:

- el mecanismo mediante el cual está previsto que los controles modifiquen el riesgo;
- si hay controles establecidos, si están en capacidad de funcionar según lo previsto y si están logrando los resultados esperados;
- si existen deficiencias en el diseño de los controles o en la forma en que se aplican;
- si hay vacíos en los controles;
- si los controles funcionan independientemente o si necesitan funcionar colectivamente para ser eficaces;
- si existen factores, condiciones, vulnerabilidades o circunstancias que puedan reducir o eliminar la eficacia del control, incluidas las fallas por causas comunes;
- si los propios controles introducen riesgos adicionales.

NOTA Un riesgo puede tener más de un control y los controles pueden afectar a más de un riesgo.

Se debería establecer una distinción entre los controles que cambian la posibilidad, las consecuencias o ambas cosas, y los controles que cambian la forma en que se comparte la carga del riesgo entre las partes interesadas. Por ejemplo, los seguros y otras formas de financiación de riesgos no afectan directamente la posibilidad de un evento o sus resultados, pero pueden hacer que algunas de las consecuencias sean más tolerables para una parte interesada en particular al reducir su alcance o facilitar el flujo de caja.

Siempre que sea posible, se debería validar cualquier hipótesis que se haga durante el análisis de riesgos sobre el efecto real y la confiabilidad de los controles, con énfasis particular en los controles

individuales o en las combinaciones de controles que se supone que tienen un efecto modificador sustancial. Para ello se debería tener en cuenta la información obtenida mediante el seguimiento y la revisión rutinarios de los controles.

Las técnicas de análisis de los controles se describen en el literal B.4.

### 6.3.5 Compresión de las consecuencias y de la posibilidad

#### 6.3.5.1 Análisis del tipo, magnitud y momento de las consecuencias

El análisis de las consecuencias puede variar desde una descripción de los resultados hasta un modelado cuantitativo detallada o un análisis de vulnerabilidad. Cuando sea pertinente, se deberían tener en cuenta los efectos consecuenciales (efectos dominó o de rebote), en donde una consecuencia lleva hacia otra.

El riesgo puede estar asociado con varios tipos diferentes de consecuencias que tienen impacto en diferentes objetivos. Los tipos de consecuencias que se deben analizar se deberían haber decidido al planificar la evaluación. La declaración del contexto se debería confirmar para asegurar que las consecuencias que se van a analizar estén alineadas con el propósito de la evaluación y con las decisiones por tomar. Esto se puede revisar durante la evaluación, a medida se tenga más información.

La magnitud de las consecuencias se puede expresar cuantitativamente como un valor puntual o como una distribución. Una distribución puede ser apropiada cuando:

- el valor de la consecuencia es incierto;
- las consecuencias varían dependiendo de las circunstancias;
- los parámetros que afectan a las consecuencias varían.

Considerar la distribución entera asociada a una consecuencia proporciona información completa. Es posible resumir la distribución en forma de valor en puntos, como el valor esperado (media), la variación (varianza) o el porcentaje en la cola u otra parte pertinente de la distribución (percentil).

En cualquier método para obtener un valor o valores en puntos que representen una distribución de las consecuencias, existen hipótesis subyacentes e incertidumbres acerca de:

- la forma de la distribución escogida para ajustarse a los datos (por ejemplo, continua o discreta, normal o muy sesgada);
- la forma más apropiada de representar esa distribución como un valor en puntos;
- el valor de la estimación en puntos debido a las incertidumbres inherentes a los datos a partir de los cuales se produjo la distribución.

No se debería suponer que los datos pertinentes al riesgo siguen necesariamente una distribución normal.

En algunos casos, la información se puede resumir en una calificación cualitativa o semicuantitativa que se puede utilizar al comparar los riesgos.

La magnitud de las consecuencias también podría variar de acuerdo con otros parámetros. Por ejemplo, las consecuencias para que tiene para la salud la exposición a una sustancia química dependen generalmente de la dosis a la que la persona u otra especie está expuesta. En este ejemplo, el riesgo suele estar representado por una curva de dosis-respuesta que representa la probabilidad de un punto final especificado (por ejemplo, la muerte) en función de una dosis a corto plazo o de una dosis acumulada.

Las consecuencias también podrían cambiar con el tiempo. Por ejemplo, los impactos adversos de una falla pueden ser más severos cuanto más tiempo exista la falla. Se deberían seleccionar las técnicas apropiadas para tener esto en cuenta.

Algunas veces, hay consecuencias por la exposición a múltiples fuentes de riesgo: por ejemplo, efectos ambientales o para la salud humana debido a la exposición a fuentes de riesgo biológicas, químicas, físicas y psicosociales. Al considerar múltiples exposiciones, se debería tener en cuenta la posibilidad de efectos sinérgicos, así como la influencia de la duración y el alcance de la exposición.

### 6.3.5.2 Análisis de la posibilidad

La posibilidad puede referirse a la posibilidad de un evento o de una consecuencia especificada. El parámetro al que se aplica un valor de posibilidad se debería indicar explícitamente y el evento o consecuencia cuya posibilidad se indica se debería definir en forma clara y precisa. Puede ser necesario incluir una declaración sobre la exposición y la duración para definir completamente la posibilidad.

La posibilidad se puede describir de diversas maneras, incluso como una probabilidad o frecuencia esperada o en términos descriptivos (por ejemplo, "muy posible"). Cuando se utiliza un término descriptivo, se debería definir su significado. Puede haber incertidumbre en la posibilidad que se puede presentar como una distribución de valores que representan el grado de creencia de que un valor particular ocurrirá.

Cuando se utilice un porcentaje como medida de la posibilidad, se debería indicar la naturaleza de la relación a la que se aplica el porcentaje.

EJEMPLO 1 La afirmación de que el potencial de que un proveedor no entregue es del 5 % es vaga tanto en términos de tiempo como de población. Tampoco es claro si el porcentaje se refiere al 5 % de los proyectos o al 5 % de los proveedores. Una declaración más explícita sería "la posibilidad de que uno o más proveedores no entreguen los bienes o servicios requeridos en un proyecto, durante la ejecución de este, es del 5 % de los proyectos".

Para reducir al mínimo las interpretaciones erróneas al expresar la posibilidad, ya sea cualitativa o cuantitativamente, el período de tiempo y la población en cuestión deberían ser explícitos y coherentes con el alcance de la evaluación en particular.

EJEMPLO 2 La probabilidad de que uno o más proveedores no entreguen los bienes o servicios requeridos en un proyecto en los dos meses siguientes es del 1 % de los proyectos, mientras que en un plazo de seis meses puede producirse un incumplimiento en el 3 % de los proyectos.

Hay muchos sesgos posibles que pueden influir en las estimaciones de posibilidad. Además, la interpretación de la estimación de posibilidad puede variar dependiendo del contexto en el que se encuentre. Es necesario entender los posibles efectos de los sesgos individuales (cognitivos) y culturales.

Las técnicas para entender las consecuencias y la posibilidad se describen en el literal B.5.

### 6.3.6 Análisis de las interacciones y dependencias

Por lo general, existen muchas interacciones y dependencias entre los riesgos. Por ejemplo, una sola causa puede tener múltiples consecuencias, o una consecuencia en particular podría tener múltiples causas. La ocurrencia de algunos riesgos puede hacer más o menos posible la ocurrencia de otros, y estos vínculos causales pueden formar cascadas o bucles.

Para lograr una evaluación más confiable del riesgo cuando los vínculos causales entre los riesgos son significativos, puede ser útil crear un modelo causal que incorpore los riesgos de alguna forma. Se pueden buscar temas comunes dentro de la información de riesgo, como causas comunes o factores de riesgo, o resultados comunes.

Las interacciones entre los riesgos pueden tener una variedad de impactos en la toma de decisiones, por ejemplo, al incrementar la importancia de las actividades que abarcan múltiples riesgos relacionados o aumentar el atractivo de una opción sobre otras. Los riesgos pueden ser susceptibles a tratamientos comunes, o puede haber situaciones en las que el tratamiento de un riesgo tenga implicaciones positivas o negativas en otros lugares. Las acciones de tratamiento pueden consolidarse a veces para reducir significativamente la cantidad de trabajo y equilibrar más eficazmente los recursos disponibles. Un plan de tratamiento coordinado debería tener en cuenta estos factores en lugar de suponer que cada riesgo se debería tratar de forma independiente.

Las técnicas para analizar las interacciones y dependencias se describen en el literal B.6.

### 6.3.7 Comprensión de las medidas de riesgo

#### 6.3.7.1 Determinación de las medidas de riesgo

En algunas situaciones, resulta útil proporcionar una medida del riesgo como una combinación de la magnitud de las consecuencias potenciales y la posibilidad de esas consecuencias. Esto puede implicar medidas cualitativas, semicuantitativas o cuantitativas.

- Los enfoques cualitativos suelen basarse en escalas descriptivas (nominales) o de clasificación (ordinales) de consecuencias y posibilidades.
- Los enfoques semicuantitativos incluyen donde:
  - un parámetro (generalmente posibilidad) se expresa cuantitativamente y el otro se describe o expresa en una escala de calificación;
  - las escalas se dividen en bandas discretas cuyos límites se expresan cuantitativamente. Los puntos de la escala a menudo se configuran para que tengan una relación logarítmica que se ajuste a los datos;
  - se añaden descriptores numéricos a los puntos de la escala, cuyos significados se describen cualitativamente.

El uso de escalas semicuantitativas puede dar lugar a interpretaciones erróneas si no se explica cuidadosamente la base de cualquier cálculo. Por lo tanto, los enfoques semicuantitativos se deberían validar y utilizar con cautela.

- Los enfoques cuantitativos utilizan medidas de consecuencias y posibilidades que se expresan en escalas numéricas (relaciones). Cuando un riesgo se analiza en términos cuantitativos, es necesario asegurarse de que se usan y se transfieren las unidades y dimensiones adecuadas a lo largo de la evaluación.

Las técnicas cualitativas y semicuantitativas se pueden utilizar solamente para comparar los riesgos con otros riesgos medidos de la misma manera o con criterios expresados en los mismos términos. No se pueden utilizar para combinar o sumar riesgos directamente y son muy difíciles de utilizar en situaciones en las que hay consecuencias tanto positivas como negativas o cuando es necesario buscar soluciones intermedias entre riesgos.

Cuando las estimaciones cuantitativas de una consecuencia y su posibilidad se combinan como un simple producto para proporcionar una magnitud para un riesgo, la información se puede perder. En particular, no se distingue entre los riesgos con consecuencias mayores y baja posibilidad y los de consecuencias menores que ocurren con frecuencia. Para compensar esto, se puede aplicar con prudencia un factor de ponderación a la consecuencia o a la posibilidad.

El riesgo no siempre se puede describir o estimar adecuadamente como un valor único que representa la posibilidad de una consecuencia específica. Algunos ejemplos de aplicación de esto incluyen situaciones en las que:

- las consecuencias se expresan mejor como una distribución de la probabilidad de las consecuencias;
- un evento tiene varias causas diferentes y conduce a una gama de resultados y posibles efectos consecuentes;
- las consecuencias surgen acumulativamente de la exposición continua a una fuente de riesgo;
- las fuentes de riesgo (tales como los problemas sistémicos) son identificables, pero es muy difícil especificar la naturaleza y la posibilidad de las consecuencias que pudieran surgir. (En este caso, resulta imposible estimar una magnitud válida del riesgo en términos de posibilidad y consecuencias).

Cuando un riesgo tiene una distribución de las posibles consecuencias, se puede obtener una medida del riesgo como el promedio ponderado de probabilidad de las consecuencias (es decir, la esperanza matemática). Sin embargo, esto podría no ser siempre una buena medida del riesgo porque refleja la consecuencia media de la distribución. Esto da como resultado pérdida de información sobre las consecuencias menos posibles que pueden ser graves y, por lo tanto, importantes para la comprensión del riesgo. Las técnicas para tratar con valores extremos no están incluidas en este documento.

**NOTA** La esperanza matemática o valor esperado es equivalente a sumar todos los pares consecuencia/posibilidad a través de una distribución, lo que equivale a usar la consecuencia media de la distribución.

Algunos ejemplos de métricas cuantitativas de la magnitud de un riesgo son:

- una frecuencia prevista de ocurrencia de una consecuencia especificada, como el número de accidentes de tráfico por cada mil kilómetros recorridos en una región;

- el tiempo esperado entre eventos de interés, como el tiempo medio de buen funcionamiento de un elemento;
- una probabilidad de un punto final específico durante un período de exposición definido (pertinente cuando las consecuencias se acumulan durante un período de exposición), tal como la probabilidad de contraer cáncer durante la vida como resultado de exposición a una dosis especificada de una sustancia química;
- un valor esperado, como el rendimiento o las ganancias financieras esperadas durante un período de inversión, o la carga de salud pública prevista en términos de años de vida ajustados en función de la discapacidad por millón de personas al año;
- una estadística que representa la forma de una distribución de consecuencias tales como la varianza o volatilidad de los rendimientos de una inversión;
- un valor igual o superior o inferior a un percentil especificado en una distribución de consecuencias;

**EJEMPLO** Las utilidades de un proyecto que tiene un 90% de potencial de logro; o el Valor en Riesgo (VaR) de una cartera que mide la pérdida que podría surgir en la cartera durante un período de tiempo especificado con una probabilidad especificada.

- una medida extrema asociada a la distribución de las consecuencias, tales como las consecuencias máximas esperadas.

Las métricas basadas en las consecuencias, tales como la pérdida máxima creíble o la pérdida máxima probable se utilizan principalmente cuando es difícil definir qué controles tienen la capacidad de fallar o cuando no hay datos suficientes en los que basar las estimaciones de posibilidad.

La magnitud del riesgo depende de las hipótesis hechas sobre la presencia y eficacia de los controles pertinentes. Términos como riesgo inherente o bruto (para la situación en la que se supone que los controles que pueden fallar lo hacen) y riesgo residual o neto para el nivel de riesgo cuando se supone que los controles funcionan según lo previsto, son utilizados a menudo por los profesionales. Sin embargo, es difícil definir estos términos sin ambigüedades y, por lo tanto, es aconsejable declarar siempre explícitamente las hipótesis hechas sobre los controles.

Cuando se informe una magnitud de riesgo, ya sea cualitativa o cuantitativamente, se deberían describir las incertidumbres asociadas a las hipótesis y a los parámetros de entrada y de salida.

### 6.3.7.2 Agregación de medidas de riesgo

En algunos casos (como en la asignación de capital) puede ser útil combinar los valores de un conjunto de riesgos para producir un único valor. Siempre que los riesgos se caractericen por una sola consecuencia, medida en las mismas unidades, como el valor monetario, en principio se pueden combinar. Es decir, solo se pueden combinar cuando las consecuencias y la posibilidad se indican cuantitativamente y las unidades son coherentes y correctas. En algunas situaciones, una medida de utilidad se puede usar como una escala común para cuantificar y combinar las consecuencias que se miden en diferentes unidades.

Al desarrollar un único valor consolidado para un conjunto de riesgos más complejos se pierde información sobre los riesgos de los componentes. Además, a menos que se tenga mucho cuidado,

el valor consolidado puede ser inexacto y puede ser engañoso. Todos los métodos de agregación de riesgos en un único valor tienen hipótesis subyacentes que se deberían entender antes de su aplicación. Los datos se deberían analizar para buscar correlaciones y dependencias que afecten la forma en que se combinan los riesgos. Las técnicas de modelado utilizadas para producir un nivel agregado de riesgo deberían estar respaldadas por el análisis de escenario y las pruebas de tensión.

Cuando los modelos incorporan cálculos que involucran distribuciones, deberían incluir correlaciones entre esas distribuciones de manera apropiada. Si la correlación no se tiene en cuenta adecuadamente, los resultados serán inexactos y pueden ser considerablemente engañosos. Consolidar los riesgos simplemente sumándolos no es una base confiable para la toma de decisiones y puede dar lugar a resultados no deseados. La simulación de Monte Carlo se puede utilizar para combinar distribuciones (véase el literal B.5.10).

Las medidas del riesgo cualitativas o semicuantitativas no se pueden agregar directamente. Del mismo modo, solo se pueden hacer afirmaciones cualitativas generales sobre la eficacia relativa de los controles con base en medidas cualitativas o semicuantitativas de los cambios en el nivel de riesgo.

Los datos pertinentes sobre los diferentes riesgos se pueden reunir de diversas maneras para ayudar a los responsables de la toma de decisiones. Es posible realizar una agregación cualitativa basada en la opinión de expertos, teniendo en cuenta información más detallada sobre el riesgo. Estas hipótesis y la información utilizada para realizar agregaciones cualitativas de riesgo deberían estar articulados claramente.

### 6.3.7.3 Riesgo social

Cuando una población está expuesta al riesgo, una simple agregación del nivel individual de riesgo multiplicado por la población expuesta, en la mayoría de los casos no representa adecuadamente el verdadero impacto de las consecuencias. Por ejemplo, el riesgo de un individuo de perecer a causa de un evento tal como la falla de una presa podría tener que considerarse de manera diferente si el mismo evento afectara a un grupo de individuos.

El riesgo social se expresa y evalúa habitualmente en términos de la relación entre la frecuencia de ocurrencia de una consecuencia (F) y el número de personas que sufren las consecuencias (N). (Ver diagramas F-N en el literal B.8.3).

Las técnicas que proporcionan una medida del riesgo se describen en el literal B.7.

## 6.4 Revisión del análisis

### 6.4.1 Verificación y validación de los resultados

En la medida de lo posible, los resultados de los análisis se deberían verificar y validar. La verificación implica comprobar que el análisis se ha realizado correctamente. La validación implica comprobar que se ha realizado el análisis adecuado para alcanzar los objetivos deseados. En algunas situaciones, la verificación y la validación pueden implicar procesos de revisión independientes.

La validación puede incluir:

- comprobar que el alcance del análisis es adecuado para las metas establecidas;
- revisar todas las hipótesis críticas para asegurar que sean creíbles a la luz de la información disponible;
- comprobar que se han utilizado los métodos, modelos y datos apropiados;
- utilizar múltiples métodos, aproximaciones y análisis de sensibilidad para poner a prueba y validar las conclusiones.

La verificación puede incluir:

- comprobar la validez de las manipulaciones y cálculos matemáticos;
- comprobar que los resultados son insensibles a la forma en que se muestran o presentan los datos o resultados;
- comparar los resultados con la experiencia pasada cuando existen datos, o con los resultados después de que estos ocurran;
- establecer si los resultados son sensibles a la forma en que se muestran o presentan los datos o resultados, e identificar los parámetros de entrada que tengan un efecto significativo en los resultados de la evaluación;
- comparar los resultados con la experiencia pasada o subsiguiente, incluida la obtención explícita de retroalimentación a medida que avanza el tiempo.

#### 6.4.2 Análisis de incertidumbre y sensibilidad

Quienes analizan el riesgo deberían comprender las incertidumbres del análisis y apreciar las implicaciones para la confiabilidad de los resultados. Las incertidumbres y sus implicaciones se deberían comunicar siempre a los responsables de la toma de decisiones.

La incertidumbre en los resultados de los análisis se puede deber a que:

- hay variabilidad en el sistema que se está considerando;
- los datos proceden de una fuente poco fiable, son inconsistentes o insuficientes; por ejemplo, el tipo de datos recopilados o los métodos de recopilación pueden haber cambiado;
- puede haber ambigüedad, por ejemplo, en la forma en que se enuncian o entienden los descriptores cualitativos;
- el método de análisis no representa adecuadamente la complejidad del sistema;
- hay una gran confianza de las personas en la opinión o el juicio de los expertos;
- podrían no existir datos pertinentes o la organización podría no haber recopilado los datos necesarios;

- Los datos del pasado podrían no proporcionar una base confiable para pronosticar el futuro porque algo dentro del contexto o las circunstancias ha cambiado;
- existen incertidumbres o aproximaciones en las hipótesis que se hacen.

Cuando se reconoce la falta de datos confiables durante el análisis, se deberían recopilar más datos, si es posible. Esto puede implicar la implementación de nuevos mecanismos de seguimiento. Alternativamente, el proceso de análisis se debería ajustar para tener en cuenta las limitaciones de los datos.

Se puede llevar a cabo un análisis de sensibilidad para evaluar la importancia de las incertidumbres en los datos o en las hipótesis en las que se basa el análisis. El análisis de sensibilidad implica determinar el cambio relativo en los resultados producidos por los cambios en los parámetros de entrada individuales. Se utiliza para identificar los datos que necesitan ser exactos, y aquellos que son menos sensibles y por lo tanto tienen menos efecto sobre la exactitud general. Se deberían indicar, en donde sea apropiado, los parámetros a los que es sensible el análisis y el grado de sensibilidad.

Para el seguimiento continuo se deberían identificar los parámetros que son críticos para la evaluación y que están sujetos a cambio, de manera que la evaluación del riesgo se pueda actualizar y, si es necesario, se puedan reconsiderar las decisiones.

#### **6.4.3 Seguimiento y revisión**

El seguimiento se puede utilizar para:

- comparar los resultados reales con los resultados previstos en la evaluación del riesgo y, en consecuencia, mejorar las evaluaciones futuras;
- buscar precursores e indicadores tempranos de las consecuencias potenciales que se identificaron en la evaluación;
- recopilar los datos necesarios para una buena comprensión del riesgo;
- buscar nuevos riesgos y cambios inesperados que puedan indicar la necesidad de actualizar la evaluación.

Cuando un análisis de sensibilidad indique parámetros de importancia particular para el resultado de un análisis, estos también se deberían considerar para el seguimiento.

Las evaluaciones se deberían revisar periódicamente para identificar si se han producido cambios, incluidos cambios en el contexto o en las hipótesis, y si hay nueva información o nuevos métodos disponibles.

### **6.5 Aplicación de resultados para apoyar las decisiones**

#### **6.5.1 Descripción general**

Los resultados del análisis de riesgos proporcionan una entrada a las decisiones que se deben tomar y a las acciones que se deben emprender.

NOTA La comprensión del riesgo puede informar las acciones incluso cuando no se sigue un proceso explícito de toma de decisiones.

Los factores por considerar al tomar decisiones, y cualquier criterio específico, se deberían haber definido como parte del establecimiento del contexto para la evaluación (véase el numeral 6.1.6).

Se pueden distinguir dos tipos de decisiones:

- decisiones sobre la importancia del riesgo y acerca de tratar o no el riesgo y cómo hacerlo;
- decisiones que implican comparar opciones en las que cada una tiene incertidumbres (por ejemplo, cuál oportunidad elegir de entre varias).

#### 6.5.2 Decisiones sobre la importancia del riesgo

La información procedente de la identificación y el análisis de riesgos se puede utilizar para sacar conclusiones acerca de si el riesgo se debería aceptar y la importancia comparativa del riesgo en relación con los objetivos y los umbrales de desempeño de la organización. Esto proporciona elementos de entrada para tomar decisiones sobre si el riesgo es aceptable o requiere tratamiento, y cualquier prioridad para el tratamiento.

Algunos riesgos pueden ser aceptados por un tiempo finito (por ejemplo, para dar tiempo a implementar los tratamientos). El evaluador debería tener claridad sobre los mecanismos para aceptar temporalmente los riesgos y el proceso que se debe utilizar para reconsiderarlos posteriormente.

Las prioridades para el tratamiento, para el seguimiento o para un análisis más detallado se basan a menudo en una magnitud de riesgo obtenida combinando una consecuencia representativa y su posibilidad, y se visualizan mediante una matriz de consecuencias/posibilidades (literal B.10.3). Este método tiene algunas limitaciones (véanse B.10.3.5 y 6.3.7.1). Entre los factores distintos de la magnitud del riesgo que pueden tenerse en cuenta para decidir las prioridades se encuentran los siguientes:

- otras medidas asociadas con el riesgo, como las consecuencias máximas o esperadas o la eficacia de los controles;
- las características cualitativas de los acontecimientos o sus posibles consecuencias;
- los puntos de vista y las percepciones de las partes interesadas;
- el costo y la viabilidad de un tratamiento posterior en comparación con la mejora obtenida;
- las interacciones entre riesgos, incluidos los efectos de los tratamientos sobre otros riesgos.

Una vez que se han evaluado los riesgos y se han decidido los tratamientos, el proceso de evaluación del riesgo se puede repetir para comprobar que los tratamientos propuestos no hayan creado riesgos adversos adicionales y que el riesgo residual después del tratamiento esté dentro del apetito de riesgo de la organización.

Las técnicas para evaluar la importancia del riesgo se describen en el literal B.8.

### 6.5.3 Decisiones que involucran seleccionar entre opciones

La selección entre opciones involucra normalmente sopesar las ventajas y desventajas potenciales de cada una de ellas, teniendo en cuenta las incertidumbres, que incluyen:

- las incertidumbres asociadas con los resultados potenciales de las opciones y las estimaciones de costos y beneficios;
- los eventos y desarrollos potenciales que pueden afectar los resultados;
- los diversos valores que diferentes partes interesadas atribuyen a los costos y a los beneficios;
- incertidumbre en torno a los juicios realizados a partir de los elementos de salida del análisis de riesgos, incluidas consideraciones tales como si los objetivos y los criterios continuarán sin modificación en el futuro.

Este tipo de decisión se toma a menudo utilizando el juicio de expertos, con base en la comprensión de un análisis de las opciones en cuestión y el riesgo asociado con cada una de ellas, teniendo en cuenta:

- las soluciones intermedias que puedan ser necesarias entre objetivos en conflicto;
- el apetito de riesgo de la organización;
- las diferentes actitudes y creencias de las partes interesadas.

Las técnicas que se pueden utilizar al comparar opciones que implican incertidumbre se describen en el literal B.9.

### 6.6 Registro e informe del proceso de evaluación del riesgo y sus resultados

Los resultados de la evaluación del riesgo, las metodologías utilizadas y la justificación de las hipótesis y cualquier recomendación se deberían documentar y se debería tomar una decisión acerca de qué información se debe comunicar y a quién. Se debería definir la forma en que se deben revisar y actualizar los registros.

El propósito de los registros es:

- comunicar información sobre el riesgo a los responsables de la toma de decisiones y a otras partes interesadas, incluidos los organismos de reglamentación;
- proporcionar un registro y una justificación del fundamento de las decisiones tomadas;
- preservar los resultados de la evaluación para uso y referencia futuros;
- hacer seguimiento del desempeño y de las tendencias;
- proporcionar confianza de que los riesgos se entienden y se gestionan adecuadamente;
- posibilitar la verificación de la evaluación;

- proporcionar una pista de auditoría.

Por tanto, cualquier documentación o registro se debería suministrar oportunamente y en una forma que pueda ser comprendido por quienes los lean. Los documentos también deberían brindar la profundidad técnica necesaria para la validación, y suficiente detalle que permita preservar la evaluación para su uso futuro. La información proporcionada debería ser suficiente para permitir la revisión y la validación tanto de los procesos aplicados como de los resultados. Debería haber claridad sobre las hipótesis realizadas, las limitaciones en los datos o métodos y las razones de las recomendaciones formuladas.

El riesgo se debería expresar en términos comprensibles, y las unidades en las que se expresen las medidas cuantitativas deberían ser claras y correctas.

Quienes presentan los resultados deberían caracterizar su confianza o la de su equipo en la exactitud y exhaustividad de los resultados. Las incertidumbres se deberían comunicar adecuadamente de manera que el informe no dé a entender un nivel de certeza más allá de la realidad.

Las técnicas para el registro y la presentación de informes se describen en el literal B.10.

## 7. SELECCIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL RIESGO

### 7.1 Generalidades

El numeral 7 describe los factores que se deben considerar al seleccionar una o varias técnicas para un propósito particular. En los Anexos A y B se enumeran y explican con más detalle algunas de las técnicas utilizadas comúnmente. Describen las características de cada técnica y su posible campo de aplicación, junto con sus fortalezas y debilidades inherentes.

Muchas de las técnicas descritas en este documento se desarrollaron originalmente para industrias particulares que buscaban gestionar tipos particulares de resultados no deseados. Varias de las técnicas son similares, pero utilizan diferentes terminologías, lo que refleja su desarrollo independiente para un propósito similar en diferentes sectores. Con el tiempo, la aplicación de muchas de las técnicas se ha ampliado, por ejemplo, desde aplicaciones en ingeniería hasta aplicaciones financieras o de gestión, o para considerar tanto los resultados positivos como los negativos. Han surgido nuevas técnicas y las antiguas se han adaptado a las nuevas circunstancias. Las técnicas y sus aplicaciones siguen evolucionando. Existe la posibilidad de mejorar la comprensión del riesgo mediante el uso de técnicas ajenas a su aplicación original. Por lo tanto, los Anexos A y B indican las características de las técnicas que se pueden utilizar para determinar la gama de circunstancias a las que se pueden aplicar.

### 7.2 Selección de técnicas

La elección de la técnica y la forma en que se aplique se deberían adaptar al contexto y al uso, y proporcionar información del tipo y la forma que necesiten las partes interesadas. En términos generales, se deberían utilizar el número y tipo de técnica seleccionada acordes con la importancia de la decisión y se deberían tener en cuenta las limitaciones de tiempo y otros recursos, así como los costos de oportunidad.

Al decidir si una técnica cualitativa o cuantitativa es más apropiada, los principales criterios que se deben considerar son la forma del elemento de salida que más usan las partes interesadas y la disponibilidad y confiabilidad de los datos. En general, las técnicas cuantitativas requieren datos de alta calidad si se desean obtener resultados significativos. Sin embargo, en algunos casos en que los datos no son suficientes, el rigor necesario al aplicar una técnica cuantitativa puede proporcionar una mejor comprensión del riesgo, aunque el resultado del cálculo pueda ser cuestionable.

A menudo existe una selección de técnicas pertinentes para una circunstancia determinada. Podría ser necesario considerar varias técnicas, y la aplicación de más de una técnica a veces puede proporcionar una comprensión adicional útil. [2] También pueden ser apropiadas diferentes técnicas a medida que se dispone de más información.

Por lo tanto, al seleccionar una o varias técnicas, se debería tener en cuenta lo siguiente:

- el propósito de la evaluación;
- las necesidades de las partes interesadas;
- cualquier requisito legal, reglamentario y contractual;
- el ambiente y el escenario operativo;
- la importancia de la decisión (por ejemplo, las consecuencias si se toma una decisión errada);
- cualquier criterio de decisión definido y su forma;
- el tiempo disponible antes de tomar una decisión;
- la información que está disponible o que se puede obtener;
- la complejidad de la situación;
- los conocimientos y experiencia disponibles o que se puedan obtener.

Las características de las técnicas pertinentes a estos requisitos se enumeran en la Tabla A.1. En la Tabla A.2 se presenta una lista de técnicas, clasificadas de acuerdo con estas características.

A medida que aumenta el grado de incertidumbre, complejidad y ambigüedad del contexto, aumentará la necesidad de consultar a un grupo más amplio de partes interesadas, con implicaciones para la combinación de las técnicas seleccionadas.

**NOTA** Por ejemplo, la norma IEC TR 63039:2016[50] brinda orientación acerca de cómo utilizar las técnicas ETA, AAF y Markov de forma complementaria, de modo que su uso combinado sea una forma eficaz de analizar el riesgo de sistemas complejos.

Algunas de las técnicas descritas en este documento se pueden aplicar durante las etapas del proceso de gestión de riesgos de la NTC-ISO 31000, además de su uso en la evaluación del riesgo. La aplicación de las técnicas al proceso de gestión de riesgos se ilustra en la Figura A.1. En la Tabla A.3 se ilustra su aplicación específica a la evaluación.

El Anexo B presenta un panorama general de cada técnica, su utilización, sus elementos de entrada y elementos de salida, sus puntos fuertes y sus limitaciones y, cuando es aplicable, una referencia en la que se pueden encontrar más detalles. Las técnicas están clasificadas según su aplicación primaria en la evaluación del riesgo, a saber:

- obtención de los puntos de vista de las partes interesadas y de los expertos (literal B.1);
- identificación del riesgo (literal B.2);
- determinación de las fuentes, causas y factores de riesgo (literal B.3);
- análisis de los controles existentes (literal B.4);
- comprensión de las consecuencias y de la posibilidad (literal B.5);
- análisis de las dependencias e interacciones (Literal B.6);
- suministro de medidas de riesgo (literal B.7);
- evaluación de la importancia del riesgo (literal B.8);
- selección entre opciones (literal B.9);
- registro y presentación de información (literal B.10).

Las técnicas están ordenadas alfabéticamente dentro de cada grupo y no hay ningún orden de importancia implícito.

La mayoría de las técnicas del Anexo B presuponen que se pueden identificar los riesgos o las fuentes de riesgo. También existen técnicas que se pueden utilizar para evaluar indirectamente el riesgo residual teniendo en cuenta los controles y requisitos existentes (véase, por ejemplo, la norma IEC 61508[36]).

Aunque en este documento se discuten y se suministran ejemplos de técnicas, las técnicas descritas no son exhaustivas y no se hace ninguna recomendación en cuanto a la eficacia de una técnica dada en una circunstancia determinada. Es conveniente prestar atención al seleccionar cualquier técnica para asegurar que sea apropiada, fiable y eficaz en las circunstancias dadas.

**ANEXO A**  
(Informativo)

**CATEGORIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS**

**A.1 INTRODUCCIÓN A LA CATEGORIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS**

En la Tabla A.1 se explican las características de las técnicas que se pueden utilizar para seleccionar qué técnica o técnicas usar.

**Tabla A.1 Características de las técnicas**

Característica	Descripción	Detalles (por ejemplo, indicadores de características)
Aplicación	Cómo se usa la técnica en la evaluación del riesgo (véanse los títulos de los literales B.1 a B.10)	Obtener puntos de vista, identificar, analizar causas, analizar controles, etc.
Alcance	Se aplica al riesgo a nivel organizacional, departamental o de proyectos o de los procesos individuales o nivel de equipos.	Organización (org) Proyecto/departamento (dep) Equipo/proceso (equipo/proc)
Horizonte de tiempo	Considera el riesgo a corto, mediano o largo plazo o es aplicable a cualquier horizonte de tiempo	A corto, mediano, largo plazo o cualquiera
Nivel de decisión	Se aplica al riesgo a nivel estratégico, táctico u operacional	Estratégico (1), táctico (2), operacional (3)
Información inicial /necesidades de datos	El nivel de información inicial o las necesidades de datos	Alto, medio, bajo
Conocimientos y experiencia especializados	Nivel de conocimientos y de experiencia requeridos para el uso correcto	Bajo: intuitivo o capacitación de uno o dos días Moderado: capacitación de más de dos días Alto: requiere conocimientos y experiencia especializados
Cualitativo – cuantitativo	Si el método es cualitativo, semicuantitativo o cuantitativo	Cuantitativo (cuant.) Cualitativo (cual.) Semicuantitativo (semicuant.) Se puede usar cualitativa o cuantitativamente
Esfuerzo requerido	Tiempo y costo requeridos para aplicar la técnica	Alto, medio, bajo

**A.2 APPLICACIÓN DE LA CATEGORIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS**

En la Tabla A.2 se presenta una serie de técnicas clasificadas en función de estas características. Las técnicas descritas representan formas estructuradas de ver el problema en cuestión, que se han encontrado útiles en contextos particulares. La lista no pretende ser exhaustiva, sino que abarca una serie de técnicas de uso común en diversos sectores. Para simplificar, las técnicas se enumeran en orden alfabético sin ninguna prioridad.

Cada técnica se describe con más detalle en el Anexo B, como se indica en la columna 1 de la Tabla A.2.

Tabla A.2. Técnicas y características indicativas

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.8.2	ALARP/SFAIRP	Criterios para decidir la importancia del riesgo y los medios para evaluar la tolerabilidad del riesgo.	Valoración del riesgo	1	Cualquiera	1/2	Alto	Alto	Cualit./Cuant	Alto
B.5.2	Análisis bayesiano	Medio para hacer inferencias acerca de los parámetros del modelo usando el teorema de Bayes, que tiene la capacidad de incorporar los datos empíricos a juicios previos acerca de las posibilidades.	Análisis de posibilidad	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Medio	Alto	Cuant.	Medio
B.5.3	Redes bayesianas/ diagramas de influencia	Modelo gráfico de variables y sus relaciones causa-efecto expresadas usando posibilidades. Una red bayesiana básica tiene variables que representan incertidumbres. Una versión extendida, conocida como diagrama de influencia, incluye variables que representan incertidumbres, consecuencias y acciones.	Identificar el riesgo Estimar el riesgo Decidir entre opciones	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Medio	Alto	Cuant.	Medio/Alto
B.4.2	Análisis corbatín de	Forma diagramática de describir las trayectorias de las fuentes de riesgo a los resultados, y de revisar los controles.	Analizar riesgo Analizar controles Describir riesgo	2/3	Corto/Medio	Cualquiera	Bajo	Bajo/Moderado	Cualit./semi-Cuant.	Bajo

Continúa...

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.1.2	Lluvia de ideas	Técnica usada en talleres para estimular el pensamiento imaginativo.	Obtener puntos de vista	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguna	Bajo/Moderado	Cualit.	Bajo
B.5.4	Análisis del impacto en el negocio (AIN)	El proceso de AIN analiza las consecuencias de un incidente disruptivo en la organización, que determina las propiedades de recuperación de los productos y servicios de una organización y de este modo, las prioridades de las actividades y los recursos que permiten generar dichos productos o servicios.	Analizar consec. Analizar controles	1	Corto/Medio	2	Medio	Bajo	Cuant./Cualit..	Medio
B.6.1	Mapeo de causas	Diagrama de red que representan eventos, causas y efectos y sus relaciones.	Analizar causas	2/3	Cualquiera	2/3	Medio	Moderado	Cualit.	Medio
B.5.5	Análisis de causa-consecuencia	Una combinación de análisis de árbol de fallas y de árbol de eventos que permite incluir retardos de tiempo. Se consideran tanto las causas como las consecuencias de un evento desencadenante.	Analizar causas consec. y	2/3	Cualquiera	2/3	Medio/Alto	Moderado/Alto	Cuant.	Medio/Alto
B.2.2	Clasificaciones de listas de chequeo, taxonomías	Listas basadas en la experiencia o en conceptos y modelos que se pueden usar para ayudar a identificar riesgos o controles.	Identificar riesgo controles o	2/3	Cualquiera	Cualquiera	Alto para desarrollar, bajo para usar	Bajo/Moderado	Cualit.	Bajo/Medio

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.3.2	Enfoque cindíntico	Considera metas, valores, reglas, datos y modelos de partes interesadas e identifica inconsistencias, ambigüedades, omisiones e ignorancia. Estos elementos constituyen las fuentes sistémicas y los factores de riesgo.	Identificar factores de riesgo	1/2	Corto o Medio	1	Bajo	Moderado	Cualit.	Alto
B.7.3	Valor en riesgo condicional (CVaR)	Se denomina también déficit esperado (DE), este valor mide la pérdida esperada de un portafolio financiero en el peor a % de casos.	Medida de riesgo	Cualquiera	Corto/Medio	3	Alto	Alto	Cuant.	Medio
B.10.3	Matriz de consecuencias / posibilidades	Compara los riesgos individuales seleccionando un par consecuencia/ posibilidad y visualizándolos sobre una matriz con consecuencia en un eje y posibilidad en el otro.	Informar riesgos Valorar	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Medio	Bajo para usar, moderado para desarrollar	Cualit./semi-Cuant./Cuant.	Bajo
B.9.2	Análisis de costo/beneficio	Utiliza el dinero como escala para estimar las consecuencias positivas y negativas, tangibles e intangibles, de las diferentes opciones.	Comparar opciones	Cualquiera	Corto/Medio	Cualquiera	Medio/Alto	Moderado/Alto	Cuant.	Medio/Alto
B.6.2	Análisis impacto cruzado de	Valora los cambios en la probabilidad de que ocurra un determinado conjunto de eventos como consecuencia de la ocurrencia real de uno de ellos.	Analizar posibilidad y causa	Cualquiera	Corto/Medio	Cualquiera	Bajo a Alto	Moderado/Alto	Cuant.	Medio/Alto

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.9.3	Análisis de árbol de decisiones	Utiliza una representación o modelo en forma de árbol de decisiones y de sus posibles consecuencias. Los resultados se suelen expresar en términos monetarios o de utilidad. Una representación alternativa de un árbol de decisiones es un diagrama de influencia (véase B.5.3).	Comparar opciones	Cualquiera	Cualquiera	2	Bajo/ Medio	Moderado	Cuant.	Medio
B.1.3	Técnica Delphi	Recopila los juicios por Medio de un conjunto de cuestionarios secuenciales. Las personas participan individualmente pero reciben realimentación sobre las respuestas de los demás después de cada conjunto de preguntas.	Obtener puntos de vista	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguno	Moderado	Cualit.	Medio
B.5.6	Análisis de árbol de eventos (ETA)	Modela los posibles resultados de un determinado evento desencadenante y el estado de los controles analizando la frecuencia o probabilidad de los diversos resultados posibles.	Analizar consec. controles y 2/3	Cualquiera	Cualquiera	Bajo/Medio	Moderado	Cualit./Cuant.	Medio	

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.5.7	Análisis de árbol de fallas (AAF)	Analiza las causas de un evento preciso utilizando lógica booleana para describir combinaciones de fallas. Las variaciones incluyen un árbol de éxito donde se desea el evento más importante y se usa un árbol de causas para investigar eventos pasados.	Analizar posibilidad Analizar causas	2/3	Medio	2/3	Alto para análisis cuant.	Depende de la complejidad	Cualit./Cuant.	Medio/Alto
B.2.3	Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) y análisis de modo y efectos de falla y criticidad (AMEFC)	Considera las formas en que cada componente de un sistema podría fallar y las causas y efectos de la falla. El AMEF puede ir seguido de un análisis de criticidad que define la importancia de cada modo de falla (AMEFC).	Identificar riesgos	2/3	Cualquiera	2/3	Depende de la aplicación	Moderado	Cualit./semi-Cuant./Cuant.	Bajo /Alto
B.8.3	Diagramas frecuencia /número (F/N)	Caso especial del gráfico cuantitativo de consecuencia/posibilidad aplicado a la consideración de la tolerabilidad del riesgo para la vida humana.	Valorar riesgo	1	Cualquiera	Cualquiera	Alto	Alto	Cuant.	Alto
B.9.4	Teoría de juegos	Estudio de la toma de decisiones estratégicas para modelar el impacto de las decisiones de diferentes jugadores involucrados en el juego. Un ejemplo de área de aplicación puede ser la fijación de precios basada en el riesgo.	Decidir entre opciones	1	Medio	1/2	Alto	Alto	Cuant.	Medio/Alto

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.4.3	Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP)	Analiza la reducción del riesgo que se puede lograr mediante varias capas de protección.	Analizar los Medios de control y de seguimiento	2/3	Corto/Medio	2/3	Medio	Moderado	Cualit.	Medio
B.2.4	Estudios de peligro y operabilidad (HAZOP)	Examen estructurado y sistemático de un proceso u operación planificado o existente para identificar y valorar los problemas que pudieran representar un riesgo para el personal o los equipos o impedir una operación eficiente.	Identificar y analizar riesgos	3	Medio/prolongado	2/3	Medio	Facilitador: Alto, participantes: moderado	Cualit.	Medio/Alto
B.5.8	Análisis de la confiabilidad humana (ACH)	Conjunto de técnicas para la identificación del potencial de error humano y la estimación de la posibilidad de fracaso.	Analizar riesgo y las fuentes de riesgo	2/3	Cualquiera	2/3	Medio	Alto	Cualit./Cuant.	Medio a Alto
B.1.5	Entrevistas	Conversaciones estructuradas o semiestructuradas uno a uno para obtener puntos de vista	Obtener puntos de vista	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguno	Moderado	Cualit.	Alto
B.3.3	Análisis Ishikawa (diagrama espina pescado)	Identifica los factores que contribuyen a un resultado definido (deseado o no deseado). Los factores que contribuyen se dividen normalmente en categorías predefinidas y se visualizan en una estructura de árbol o en un diagrama de espina de pescado.	Analizar fuentes del riesgo	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Bajo	Bajo/Moderado	Cualit.	bajo

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.4.4	Análisis de capas de protección (ACDP)	Analiza la reducción del riesgo que se puede lograr mediante varias capas de protección.	Analizar controles	3	Cualquiera	2/3	Medio	Moderado/Alto	Cualit./Cuant.	Medio/Alto
B.5.9	Análisis de Markov	Cálculo de la probabilidad de que un sistema que puede estar asociado a varios estados se encuentre en un estado en particular en un tiempo $t$ en el futuro.	Analizar posibilidad	3	Cualquiera	2/3	Medio/Alto	Alto	Cuant.	Medio
B.5.10	Análisis de Monte Carlo	Calcula la probabilidad de resultados Mediante la ejecución de múltiples simulaciones usando variables aleatorias.	Analizar posibilidad	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Medio	Alto	Cuant.	Medio/Alto
B.9.5	Análisis multicriterio (AMC)	Compara las opciones de una manera que las soluciones intermedias se hacen explícitas. Proporciona una alternativa a un análisis de costo/beneficio que no necesita que se asigne un valor monetario a todos los elementos de entrada.	Decidir entre opciones	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Bajo	Moderado	Cualit.	bajo/Medio
B.1.4	Técnica de grupo nominal	Técnica para obtener puntos de vista de un grupo de personas cuya participación inicial es como individuos sin interacción, y luego se llevan a cabo discusiones en grupo sobre las ideas.	Obtener puntos de vista	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Ninguno	Bajo	Cualit.	Medio

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.8.4	Gráficos de Pareto	El principio de Pareto (la regla 80-20) establece que, para muchos eventos, aproximadamente el 80 % de los efectos proviene del 20 % de las causas.	Establecer prioridades	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Medio	Moderado	Semi-Cuant./Cuant.	Bajo
B.5.11	Análisis del impacto en la privacidad (AIP) / Análisis del impacto en la protección de datos (AIPD)	Analiza cómo los incidentes y eventos pueden afectar la privacidad de una persona (PI) e identifica y cuantifica las capacidades que se necesitarían para manejarla.	Analizar fuentes de riesgo Análisis de consecuencias	Cualquiera	Cualquiera	1/2	Medio	Moderado/Alto	Cualit.	Medio
B.8.5	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC)	Evaluación basada en el riesgo utilizada para identificar las tareas de mantenimiento apropiadas para un sistema y sus componentes.	Valorar riesgo Decidir los controles	el 2/3	Medio	2/3	Medio	Alto para el facilitador, moderado para usar	Cualit./semi-Cuant./Cuant.	Medio/Alto
B.8.6	Índices riesgo	Clasifican la importancia de los riesgos en función de las calificaciones aplicadas a los factores que se cree que influyen en la magnitud del riesgo.	Comparar riesgos	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Medio	Bajo para usar, moderado para desarrollar	Semi-cuant.	Bajo
B.10.2	Registros riesgos	Medios para registrar información sobre riesgos y las acciones de seguimiento.	Registrar e informar los riesgos Hacer seguimiento y revisar	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Bajo/Medio	Bajo/Moderado	Cualit.	Medio

Tabla A.2. (Continuación)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.10.4	Curvas en S	Medios para visualizar la relación entre las consecuencias y su posibilidad, graficada como una función de distribución acumulativa (curva en S).	Visualizar riesgo Valorar riesgo	Cualquiera	Cualquiera	2/3	Medio/Alto	Moderado/Alto	Cuant./Semi-Cuant.	Medio
B.2.5	Análisis de escenario	Identifica posibles escenarios futuros por Medio de la imaginación, extrapolación del presente o modelado. Entonces se considera el riesgo para cada uno de estos escenarios.	Identificar los riesgos, Análisis de consecuencia	Cualquiera	Medio prolongado o Cualquiera	Bajo/Medio	Moderado	Cualit.	Bajo/Medio	
B.1.6	Encuestas	Cuestionarios en papel o computarizados	Obtener puntos de vista	Cualquiera	Medio/ prolongado	2/3	Bajo	Moderado	Cualit.	Alto
B.2.6	Técnica estructurada “¿Qué pasaría si?” (SWIFT)	Una forma más simple de HAZOP con indicaciones de “qué pasaría si?” para identificar desviaciones de lo esperado.	Identificar riesgos	1/2	Medio/ Prolongado	1/2	Medio	Bajo/ Moderado	Cualit.	Bajo/Medio
B.7.1	Evaluación de riesgo toxicológico	Serie de pasos que se toman para obtener una medida del riesgo para los seres humanos o para los sistemas ecológicos debido a la exposición a sustancias químicas.	Medida del riesgo	3	Medio/ Prolongado	2/3	Alto	Alto	Cuant.	Alto

Tabla A.2. (Final)

Literal	Técnica	Descripción	Aplicación	Alcance	Horizonte de tiempo	Nivel de decisión	Información inicial / necesidades de datos	Conocimientos y experiencia especializados	Cual./cuant./ Semicuant.	Esfuerzo requerido
B.7.2	Valor en riesgo (VaR)	Medida financiera del riesgo que utiliza una distribución de la probabilidad asumida de las pérdidas en una condición de mercado estable para calcular el valor de una pérdida que podría ocurrir con una probabilidad especificada en un lapso de tiempo definido. span.	Medida del riesgo	Cualquiera	Corto/Medio	3	Alto	Alto	Cuant.	Medio

### A.3 USO DE TÉCNICAS EN EL PROCESO CON LA NTC-ISO 31000

La Tabla A.3 indica en qué medida cada técnica es aplicable a las diferentes etapas de la evaluación del riesgo, a saber: la identificación de riesgos, el análisis de riesgos y la valoración de riesgos. Algunas de las técnicas también se utilizan en otros pasos del proceso. Esto se ilustra en la Figura A.1.

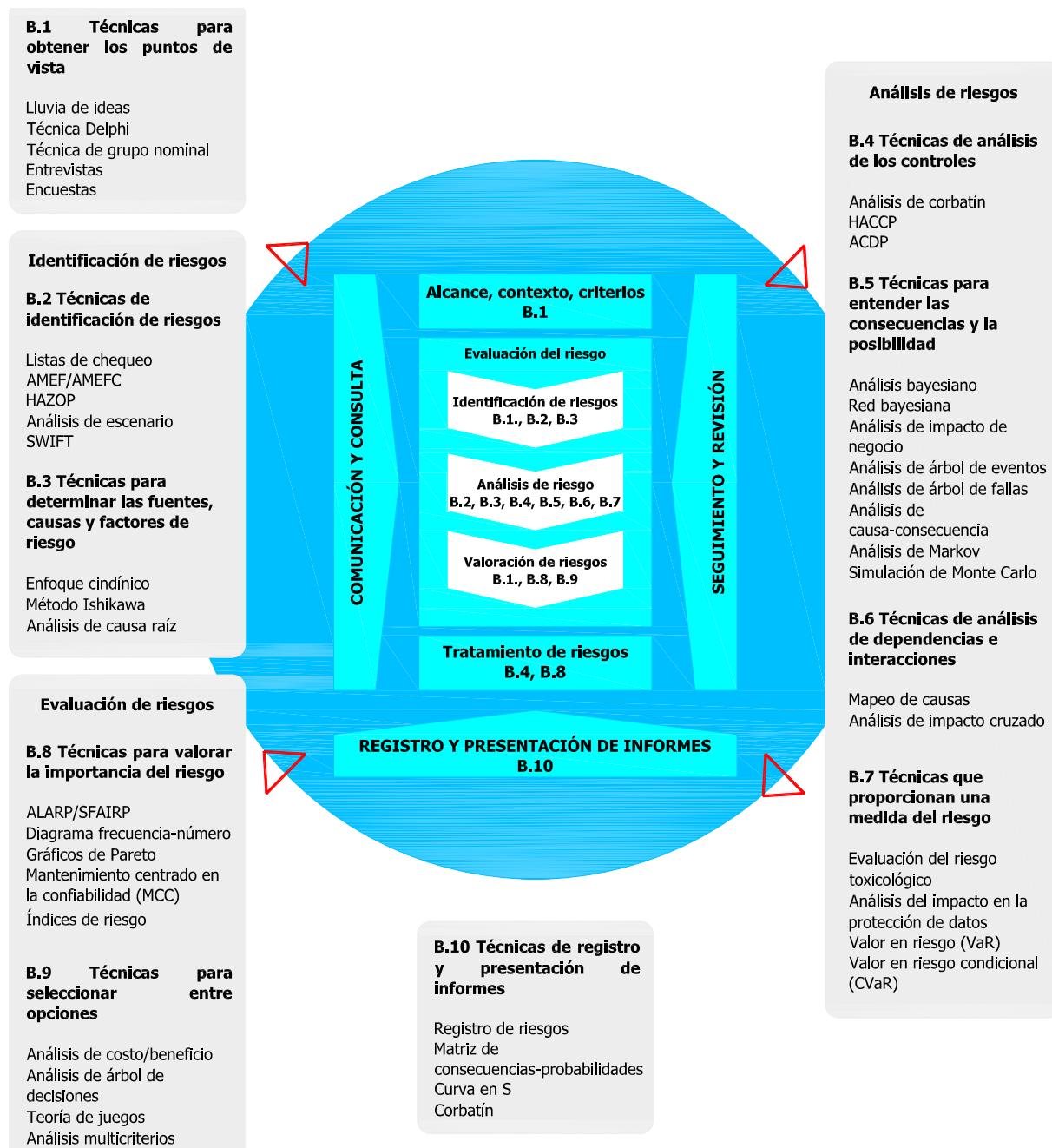


Figura A.1. Aplicación de técnicas en el proceso de gestión de riesgos con ISO 31000[3].

NOTA La Figura A.1 está prevista para proporcionar una descripción general. No es una lista exhaustiva de todas las técnicas que se pueden utilizar en cada etapa.

Tabla A.3. Aplicabilidad de las técnicas al proceso con la NTC-ISO 31000

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo					Literal	
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Valoración del riesgo		
		Consecuencia	Posibilidad	Nivel de riesgo			
ALARP, ALARA y SFAIRP	NA	NA	NA	NA	SA	B.8.2	
Análisis bayesiano	NA	NA	SA	NA	NA	B.5.2	
Redes bayesianas	NA	NA	SA	NA	SA	B.5.3	
Análisis de corbatín	A	SA	A	A	A	B.4.2	
Lluvia de ideas	SA	A	NA	NA	NA	B.1.2	
Análisis del impacto en el negocio	A	SA	NA	NA	NA	B.5.4	
Mapeo de causas	A	A	NA	NA	NA	B.6.1	
Análisis de causa-consecuencia	A	SA	SA	A	A	B.5.5	
Listas de chequeo, clasificaciones y taxonomías	SA	NA	NA	NA	NA	B.2.2	
Enfoque cindínico	SA	NA	NA	NA	NA	B.3.2	
Matriz de consecuencia- posibilidad	NA	A	A	SA	A	B.10.3	
Análisis de costo/beneficio	NA	SA	NA	NA	SA	B.9.2	
Análisis de impacto cruzado	NA	NA	SA	NA	NA	B.6.2	
Análisis de árbol de decisiones	NA	SA	SA	A	A	B.9.3	
Técnica Delphi	SA	NA	NA	NA	NA	B.1.3	
Análisis de árbol de eventos	NA	SA	A	A	A	B.5.6	
Análisis de modo y efecto de falla	SA	SA	NA	NA	NA	B.2.3	
análisis de modo y efectos de falla y criticidad (AMEFC)	SA	SA	SA	SA	SA	B.2.3	
Análisis de árbol de fallas	A	NA	SA	A	A	B.5.7	
Diagramas F-N	A	SA	SA	A	SA	B.8.3	
Teoría de juegos	A	SA	NA	NA	SA	B.9.4	
Estudios de peligro y operabilidad	SA	A	NA	NA	NA	B.2.4	
Análisis de peligros y puntos críticos de control	SA	SA	NA	NA	SA	B.4.3	
Análisis de la confiabilidad humana	SA	SA	SA	SA	A	B.5.8	
Ishikawa (espina de pescado)	SA	A	NA	NA	NA	B.3.3	
Análisis de capas de protección (ACDP)	A	SA	A	A	NA	B.4.4	
Análisis de Markov	A	A	SA	NA	NA	B.5.9	
Simulación de Monte Carlo simulation	NA	A	A	A	SA	B.5.10	

Continúa...

Tabla A.3. (Final)

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo				Valoración del riesgo	Literal		
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo						
		Consecuencia	Posibilidad	Nivel de riesgo				
Análisis multicriterio (AMC)	A	NA	NA	NA	SA	B.9.5		
Técnica de grupo nominal	SA	A	A	NA	NA	B.1.4		
Gráficos de Pareto	NA	A	A	A	SA	B.8.4		
Análisis del impacto en la privacidad/Análisis del impacto en la protección de datos (AIP/AIPD)	A	SA	A	A	SA	B.5.11		
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	A	A	A	A	SA	B.8.5		
Índices de riesgo	NA	SA	SA	A	SA	B.8.6		
Curvas en S	NA	A	A	SA	SA	B.10.4		
Análisis de escenario	SA	SA	A	A	A	B.2.5		
Entrevistas estructuradas o semiestructuradas	SA	NA	NA	NA	NA	B.1.5		
Estructuradas "Qué pasaría si?" (SWIFT)	SA	SA	A	A	A	B.2.6		
Encuestas	SA	NA	SA	NA	NA	B.1.6		
Evaluación de riesgo toxicológico	SA	SA	SA	SA	SA	B.7.1		
Valor en riesgo (VaR)	NA	A	A	SA	SA	B.7.2		

A: aplicable; SA: considerablemente aplicable; NA: no aplicable.

**ANEXO B**  
(Informativo)**DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS****B.1 TÉCNICAS PARA OBTENER LOS PUNTOS DE VISTA DE LAS PARTES INTERESADAS Y DE LOS EXPERTOS****B.1.1 Generalidades**

Algunas de las técnicas descritas de los literales B.2 a B.7 implican elementos de entrada de partes interesadas y de expertos. De esta manera se obtiene una amplia experiencia y se permite la participación de las partes interesadas. Los puntos de vista de las partes interesadas y de los expertos pueden obtenerse de forma individual (por ejemplo, a través de entrevistas o encuestas) o utilizando técnicas de grupo como la lluvia de ideas, los grupos nominales o la técnica Delphi. Los puntos de vista pueden incluir la divulgación de información, expresiones de opiniones o ideas creativas. En el literal B.1 se describen algunas técnicas que se pueden utilizar para obtener información o consenso.

En algunas situaciones, las partes interesadas tienen conocimientos, experiencia y un rol específicos, y hay poca divergencia de opiniones. Sin embargo, a veces se puede esperar que los puntos de vista de las partes interesadas varíen significativamente y puede haber estructuras de poder y otros factores que operan, que afectan la forma en que las personas interactúan. Estos factores afectarán la elección del método utilizado, al igual que el número de partes interesadas a las que se consultará, las limitaciones de tiempo y los aspectos prácticos que implica reunir al mismo tiempo a todas las personas necesarias.

Cuando se utiliza un método de grupo cara a cara, es importante contar con un facilitador experimentado y capacitado para lograr buenos resultados. El rol del facilitador o coordinador consiste en:

- organizar el equipo;
- obtener y distribuir información y datos pertinentes antes de la reunión/colaboración;
- preparar una estructura y un formato eficientes para la reunión/colaboración;
- incitar el pensamiento creativo para fortalecer la comprensión y generar ideas;
- asegurarse de que los resultados sean exactos y lo más libres de sesgos posible.

Las listas de chequeo obtenidas de las clasificaciones y taxonomías se pueden utilizar como parte del proceso (véase el literal B.2.2).

Cualquier técnica para obtener información que se base en las percepciones y opiniones de las personas tiene el potencial de ser poco fiable y experimenta una variedad de sesgos tales como el sesgo de disponibilidad (una tendencia a sobreestimar la posibilidad de algo que acaba de suceder), la ilusión de agrupamiento (la tendencia a sobreestimar la importancia de los grupos pequeños en

una muestra grande) o el efecto de arrastre (la tendencia a hacer o creer cosas porque otros hacen o creen lo mismo).

En la norma EN 12973[4] se ofrece orientación sobre el análisis funcional que se puede utilizar para reducir los sesgos y centrar el pensamiento creativo en los aspectos que tengan el mayor impacto.

Es conveniente suministrar la información en la que se basaron los juicios y sobre las hipótesis que se formularon.

## **B.1.2 Lluvia de ideas**

### **B.1.2.1 Descripción general**

La Lluvia de ideas es un proceso utilizado para estimular y alentar a un grupo de personas a desarrollar ideas relacionadas con uno o más temas de cualquier naturaleza. El término "lluvia de ideas" se utiliza a menudo de manera muy vaga para referirse a cualquier tipo de discusión en grupo, pero una Lluvia de ideas eficaz requiere un esfuerzo consciente para asegurar que los pensamientos de los demás miembros del grupo se utilicen como herramientas para estimular la creatividad de cada participante. Cualquier análisis o crítica de las ideas se lleva a cabo aparte de la Lluvia de ideas.

Esta técnica arroja los mejores resultados cuando se dispone de un facilitador experto que puede proporcionar la estimulación necesaria pero que no limita el pensamiento. El facilitador estimula al grupo a cubrir todas las áreas pertinentes y se asegura de capturar las ideas del proceso para su análisis posterior.

Una Lluvia de ideas puede ser estructurada o no estructurada. Para una Lluvia de ideas estructurada, el facilitador divide en secciones el tema que se va a discutir y utiliza indicaciones preparadas para generar ideas sobre un nuevo tema cuando este se agota. Con frecuencia, una Lluvia de ideas no estructurada es menos formal. En ambos casos, el facilitador parte de un hilo de pensamiento y se espera que todos generen ideas. Se mantiene el ritmo para permitir que las ideas desencadenen el pensamiento lateral. El facilitador puede sugerir una nueva dirección, o aplicar una herramienta de pensamiento creativo diferente cuando una dirección de pensamiento esté agotada o cuando la discusión se desvíe demasiado. La meta es recopilar tantas ideas diversas como sea posible para su análisis posterior.

Se ha demostrado que, en la práctica, los grupos generan menos ideas que las mismas personas que trabajan individualmente. Por ejemplo:

- en un grupo, las ideas de la gente tienden a converger en lugar de diversificarse;
- el retraso en la espera de un turno para hablar tiende a bloquear las ideas;
- la gente tiende a trabajar menos mentalmente cuando está en un grupo.

Estas tendencias se pueden reducir:

- brindando oportunidades para que la gente trabaje sola durante parte del tiempo;
- diversificando los equipos y cambiando la composición de los equipos;

- combinando con técnicas como la técnica de grupo nominal (B.1.4) o la lluvia de datos electrónica. Estas técnicas fomentan una mayor participación individual y se pueden configurar de manera que sean anónimas, para evitar cuestiones políticas y culturales personales.

#### B.1.2.2 Uso

Una lluvia de ideas se puede aplicar a cualquier nivel en una organización para identificar incertidumbres, modos de éxito o fracaso, causas, consecuencias, criterios para la toma de decisiones u opciones de tratamiento. El uso cuantitativo es posible, pero solo en su forma estructurada, para asegurar que se tengan en cuenta los sesgos y se aborden adecuadamente, especialmente cuando se utiliza para involucrar a todas las partes interesadas.

La lluvia de ideas estimula la creatividad y, por lo tanto, es muy útil a la hora de trabajar en diseños, productos y procesos innovadores.

#### B.1.2.3 Elementos de entrada

La lluvia de ideas suscita las opiniones de los participantes, por lo que tiene menos necesidad de datos o información externa que otros métodos. Los participantes deben tener entre ellos los conocimientos, la experiencia y la gama de puntos de vista necesarios para el problema en cuestión. Para que la lluvia de ideas sea productiva, normalmente se necesita un facilitador capacitado.

#### B.1.2.4 Elementos de salida

Los elementos de salida son una lista de todas las ideas generadas durante la sesión y los pensamientos surgidos cuando se presentan las ideas.

#### B.1.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de la lluvia de ideas incluyen:

- Estimula la imaginación y la creatividad, lo que ayuda a identificar nuevos riesgos y soluciones nuevas.
- Es útil cuando los datos son escasos o inexistentes, y cuando se requieren nuevas tecnologías o soluciones novedosas.
- Involucra a las partes interesadas clave y, por lo tanto, ayuda a la comunicación y al compromiso.
- Es relativamente rápido y fácil de organizar.

Las limitaciones incluyen:

- Es difícil demostrar que el proceso ha sido exhaustivo.
- Los grupos tienden a generar menos ideas que los individuos que trabajan solos.

- Las dinámicas de grupo particulares podrían hacer que algunas personas con ideas valiosas se queden calladas mientras que otras dominan la discusión. Esto se puede superar mediante una facilitación eficaz.
- Fomentar el pensamiento creativo y las nuevas ideas puede significar que la conversación no se mantenga centrada en el asunto que se está considerando, y esto ocupa tiempo de reunión.

#### B.1.2.6 Documentos de referencia

- [5] PROCTOR, A. (2009). *Creative Problem Solving for Managers*.
- [6] GOLDENBERG, Olga, WILEY, Jennifer. *Quality, Conformity, and Conflict: Questioning the Assumptions of Osborn's Brainstorming Technique*.

### B.1.3 Técnica Delphi

#### B.1.3.1 Descripción general

La técnica Delphi es un procedimiento destinado a obtener el consenso de un grupo de expertos. Es un método para recopilar y cotejar juicios sobre un tema en particular a través de un conjunto de cuestionarios secuenciales. Una característica esencial de la técnica Delphi es que los expertos expresan sus opiniones de forma individual, independiente y anónima, al tiempo que tienen acceso a los puntos de vista de los demás expertos a medida que avanza el proceso.

El grupo de expertos que forman el panel recibe de forma independiente la(s) pregunta(s) por considerar. La información de la primera ronda de respuestas se analiza, se compagina y se entrega a los panelistas, quienes pueden entonces reconsiderar sus respuestas originales. Los panelistas responden y el proceso se repite hasta que se llega a un consenso o quasi consenso. Si un panelista o una minoría de panelistas mantienen sistemáticamente su respuesta, podría indicar que tienen información o un punto de vista importantes.

#### B.1.3.2 Uso

La técnica Delphi se utiliza para problemas complejos sobre los que existe incertidumbre y para los que se necesita el juicio de expertos para abordarlos. Se puede utilizar en la elaboración de pronósticos y políticas y para obtener consenso o para conciliar diferencias entre expertos. Se puede utilizar para identificar riesgos (con resultados positivos y negativos), amenazas y oportunidades y para obtener consenso sobre la posibilidad y las consecuencias de eventos futuros. Generalmente se aplica a nivel estratégico o táctico. Su aplicación original era para pronósticos a largo plazo, pero se puede aplicar a cualquier marco temporal.

#### B.1.3.3 Elementos de entrada

Este método se basa en el conocimiento y en la cooperación continua de los participantes a través de una escala de tiempo variable que puede ser en días, semanas, meses o incluso años.

El número de participantes puede variar de unos pocos a cientos. Los cuestionarios escritos pueden estar en papel o se pueden distribuir y devolver utilizando herramientas de comunicación electrónica

como el correo electrónico e Internet. El uso de sistemas tecnológicos ayuda a asegurar agilidad y precisión en la recopilación de información en cada ciclo.

#### B.1.3.4 Elementos de salida

Consenso sobre el tema que se examina.

#### B.1.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- Ya que las opiniones son anónimas, es más probable que se expresen opiniones impopulares y haya menos sesgo por jerarquías.
- Todos los puntos de vista tienen el mismo valor, lo cual evita el problema de las personalidades dominantes.
- Se logra la apropiación de los resultados.
- No es necesario reunir a las personas a la vez en un solo lugar.
- Las personas cuentan con tiempo para dar una respuesta cuidadosa a las preguntas.
- El proceso tiende a hacer que los expertos dediquen toda su atención a la tarea.

Las limitaciones incluyen:

- Requiere trabajo intensivo y mucho tiempo.
- Los participantes deben ser capaces de expresarse claramente por escrito.

#### B.1.3.6 Documento de referencia

- [7] ROW E, G. W RIGHT, G. The Delphi Technique: Past, Present, and Future Prospects. *Technological Forecasting and Social Change* 2011, 78, Special Delphi Issue

### B.1.4 Técnica de grupo nominal

#### B.1.4.1 Descripción general

Al igual que la lluvia de ideas, la técnica de grupo nominal tiene como objetivo recoger ideas. Primero se buscan los puntos de vista individuales, sin interacción entre los miembros del grupo, y luego estos se discuten en el grupo.

El proceso es el siguiente:

- El facilitador proporciona a cada miembro del grupo las preguntas que se deben responder.
- Los individuos escriben sus ideas en forma silenciosa e independiente.

- En esta etapa, cada miembro del grupo presenta sus ideas y no hay discusiones. Si la dinámica de grupo implica que algunas opiniones tengan más valor que otras, las ideas se pueden transmitir al facilitador de manera anónima. Los participantes pueden entonces solicitar más aclaraciones.
- Posteriormente, el grupo discute las ideas para obtener una lista consensuada.
- Los miembros del grupo votan en privado sobre las ideas y se toma una decisión de grupo basada en los votos.

#### B.1.4.2 Uso

La técnica de grupo nominal se puede utilizar como una alternativa a la lluvia de ideas. También es útil para priorizar las ideas dentro de un grupo.

#### B.1.4.3 Elementos de entrada

Las ideas y experiencias de los participantes.

#### B.1.4.4 Elementos de salida

Ideas, soluciones o decisiones, según sea necesario.

#### B.1.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de la técnica de grupo nominal incluyen:

- Proporciona una visión más equilibrada que la lluvia de ideas, cuando algunos miembros de un grupo son más expresivos que otros.
- Tiende a producir una participación más homogénea si todos o algunos de los miembros del grupo son nuevos en el equipo, si el tema es controversial o si hay un desequilibrio de poder o conflicto entre los miembros del equipo.
- Se ha demostrado que se genera un mayor número de ideas que con la lluvia de ideas.
- Disminuye la presión para encajar en el grupo.
- Puede lograr el consenso en un plazo relativamente corto.

Las limitaciones incluyen:

- Se puede limitar la fertilización cruzada de ideas.
- Las mismas ideas se pueden expresar de muchas maneras ligeramente diferentes, lo que dificulta su cotejo.

#### B.1.4.6 Documento de referencia

- [8] MCDONALD, D. BAMMER, G. and DEANE, P. *Research Integration Using Dialogue Methods*

NOTA Esta referencia también proporciona detalles de una serie de otros métodos, algunos de los cuales también se examinan en el presente documento.

### **B.1.5 Entrevistas estructuradas o semiestructuradas**

#### **B.1.5.1 Descripción general**

En una entrevista estructurada, a los entrevistados se les hace una serie de preguntas elaboradas previamente. Una entrevista semiestructurada es similar, pero permite más libertad para que en la conversación se exploren los temas que surgen. En una entrevista semiestructurada se ofrece explícitamente la oportunidad de explorar áreas que el entrevistado podría desear cubrir.

Siempre que sea posible, las preguntas deberían ser abiertas, sencillas y redactadas en un lenguaje apropiado para el entrevistado y cada pregunta debería abarcar un solo tema. También se preparan posibles preguntas de seguimiento para buscar aclaraciones.

Las preguntas se deberían poner a prueba primero con personas de procedencia similar a las entrevistadas y así comprobar que las preguntas no son ambiguas, que se entenderán correctamente y que las respuestas cubrirán los temas previstos. Es conveniente prestar atención para no "guiar" al entrevistado.

#### **B.1.5.2 Uso**

Las entrevistas estructuradas y semiestructuradas son un medio para obtener información y opiniones en profundidad de los individuos de un grupo. Sus respuestas pueden tener la confidencialidad necesaria. Proporcionan información detallada cuando los individuos no están sesgados por los puntos de vista de otros miembros de un grupo.

Son útiles cuando es difícil reunir a las personas al mismo tiempo en el mismo lugar, o si la discusión que fluye libremente en un grupo no es apropiada para la situación o las personas involucradas. También es posible obtener información más detallada en una entrevista que en una encuesta o en un taller. Las entrevistas se pueden utilizar a cualquier nivel en una organización.

#### **B.1.5.3 Elementos de entrada**

Los elementos de entrada consisten en la comprensión clara de la información que se solicita y en un conjunto de preguntas elaboradas previamente que han sido puestas a prueba con un grupo piloto.

Quienes diseñan la entrevista y los entrevistadores necesitan poseer algunas habilidades que les permitan obtener respuestas válidas y apropiadas que no estén influidas por los propios sesgos de los entrevistadores.

#### **B.1.5.4 Elementos de salida**

El resultado es la información detallada solicitada.

#### **B.1.5.5 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas de las entrevistas estructuradas son:

- Permiten que las personas tengan el tiempo necesario para reflexionar sobre un tema.
- La comunicación uno a uno puede permitir que se consideren con más profundidad las cuestiones que el enfoque de grupo.
- Las entrevistas estructuradas permiten la participación de un mayor número de partes interesadas que un grupo cara a cara.

Las limitaciones incluyen:

- Se requiere mucho tiempo para el diseño, aplicación y análisis de las entrevistas.
- Son necesarios conocimientos y experiencia en el diseño, aplicación y análisis de las entrevistas, de manera que no tengan sesgo de parte del entrevistador.
- El sesgo en el encuestado se tolera y no se modera ni se elimina por medio de la discusión en grupo.
- Las entrevistas no despiertan la imaginación (que es una característica de los métodos de grupo).
- Las entrevistas semiestructuradas producen una cantidad considerable de información expresada por el entrevistado. Puede ser difícil agruparla de manera inequívoca en una forma susceptible de análisis.

#### B.1.5.6 Documentos de referencia

- [9] HARRELL, M.C. BRADLEY, M.A. 2009, *Data Collection Methods. A Training Manual. Semi Structured Interviews and Focus Groups*.
- [10] GILL, J. JOHNSON, P. 2010, *Research Methods for Managers*.

### B.1.6 Encuestas

#### B.1.6.1 Descripción general

Por lo general, las encuestas involucran a más personas que las entrevistas y usualmente hacen preguntas más restringidas. Habitualmente, una encuesta se hará mediante un cuestionario computarizado o en papel. Con frecuencia, las preguntas arrojan respuestas de sí/no, opciones de una escala de calificación u opciones de una gama de opciones. Esto permite el análisis estadístico de los resultados, que es una característica de tales métodos. Se pueden incluir algunas preguntas con respuesta abierta, pero se recomienda limitar su número debido a las dificultades de su análisis.

#### B.1.6.2 Uso

Las encuestas se pueden utilizar en cualquier situación en la que sea útil una consulta amplia a las partes interesadas, especialmente cuando se necesita relativamente poca información de un gran número de personas.

**B.1.6.3 Elementos de entrada**

Preguntas puestas a prueba previamente y sin ambigüedades, enviadas a una muestra ampliamente representativa de personas dispuestas a participar. El número de respuestas debe ser suficiente para obtener validez estadística. (Las tasas de retorno son a menudo bajas, lo que significa que hay que enviar muchos cuestionarios.) Se necesitan conocimientos especializados y experiencia para elaborar un cuestionario que permita obtener resultados útiles y para el análisis estadístico de los resultados.

**B.1.6.4 Elemento de salida**

El elemento de salida es un análisis de los puntos de vista de una serie de individuos, a menudo en forma gráfica.

**B.1.6.5 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas de las encuestas incluyen:

- Se puede involucrar a un número mayor de personas que en las entrevistas, con lo que se obtiene mejor información de todo el grupo.
- La aplicación de las encuestas es relativamente económica, especialmente si se utiliza software en línea con capacidad de proporcionar algún tipo de análisis estadístico.
- Pueden proporcionar información estadísticamente válida.
- Los resultados son fáciles de tabular y de comprender: usualmente es posible elaborar gráficas.
- Los informes de las encuestas pueden ponerse a disposición de otros con relativa facilidad.

Las limitaciones incluyen:

- La naturaleza de las preguntas está limitada por la necesidad de que sean sencillas e inequívocas.
- Por lo general, es necesario obtener alguna información demográfica para interpretar los resultados.
- El número de preguntas que se pueden incluir es limitado si se espera un número suficiente de respuestas.
- La persona que hace la pregunta no puede explicar, de manera que los encuestados pueden interpretar las preguntas de manera diferente a la prevista.
- Es difícil diseñar preguntas que no lleven a los encuestados a respuestas particulares.
- Los cuestionarios tienden a tener hipótesis subyacentes que podrían no ser válidas.
- Puede ser difícil obtener una tasa de respuesta adecuada y sin sesgo.

**B.1.6.6 Documentos de referencia**

- [11] SAUNDERS, M. LEWIS, P. THORNHILL, A. 2016, *Research Methods for Business Students*
- [12] UNIVERSITY OF KANSAS COMMUNITY TOOL BOX Section 13, *Conducting Surveys*

**B.2 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS****B.2.1 Generalidades**

Las técnicas de identificación de riesgos pueden incluir:

- métodos basados en evidencias, tales como revisiones de la literatura y análisis de datos históricos;
- métodos empíricos, incluidas las pruebas y el modelado para identificar lo que podría ocurrir en determinadas circunstancias;
- encuestas de percepción, que incluyen los puntos de vista de una amplia gama de personas experimentadas;
- técnicas en las que el tema que se está examinando se divide en elementos más pequeños, cada uno de los cuales se examina a su vez utilizando métodos que plantean preguntas del tipo ¿“qué pasaría si”?

EJEMPLOS      HAZOP (B.2.4), AMEF (B.2.3) y SWIFT (B.2.6).

- técnicas para fomentar el pensamiento imaginativo sobre las posibilidades del futuro, como el análisis de escenario (B.2.5);
- listas de chequeo o taxonomías basadas en datos anteriores o en modelos teóricos (B.2.2).

Las técnicas descritas en el literal B.2 son ejemplos de algunos enfoques estructurados para identificar el riesgo. Es probable que una técnica estructurada sea más completa que un taller no estructurado o semiestructurado y que se utilice más fácilmente para demostrar la debida diligencia en la identificación del riesgo.

El uso de múltiples técnicas, incluidos los métodos ascendentes y descendentes, estimula la identificación completa de los riesgos. Los enfoques que cuestionan los resultados de la identificación de riesgos, tales como el “*Red Teaming*”, también se pueden utilizar para ayudar a comprobar que no se haya pasado por alto ningún riesgo pertinente.

NOTA      El “*red teaming*” es una práctica que consiste en considerar un problema desde la perspectiva de un adversario o competidor [13].

Las técnicas descritas pueden involucrar múltiples partes interesadas y expertos. En el literal B.1 se describen los métodos que se pueden utilizar para obtener opiniones, ya sea individualmente o en grupo.

## B.2.2 Listas de chequeo, clasificaciones y taxonomías

### B.2.2.1 Descripción general

Las listas de chequeo se utilizan durante la evaluación del riesgo de diversas maneras, entre ellas ayudar a comprender el contexto, identificar riesgos y agruparlos para diversos fines durante el análisis. También se utilizan en la gestión del riesgo, por ejemplo, para clasificar los controles y tratamientos, definir la rendición de cuentas y las responsabilidades, o para informar y comunicar el riesgo.

Una lista de chequeo se puede basar en la experiencia de fracasos y éxitos pasados, pero se pueden desarrollar tipologías y taxonomías de riesgo más formales para categorizar o clasificar los riesgos con base en atributos comunes. En sus formas puras, las tipologías son esquemas de clasificación "ascendentes" obtenidos conceptualmente, mientras que las taxonomías son esquemas de clasificación "descendentes" obtenidos empírica o teóricamente. Por lo general, las formas híbridas mezclan estas dos formas puras.

Las taxonomías de riesgo suelen ser mutuamente excluyentes y exhaustivas colectivamente (es decir, para evitar coincidencias parciales y vacíos). Las clasificaciones de riesgo pueden enfocarse en aislar una categoría particular de riesgo para un examen más detallado.

Tanto las tipologías como las taxonomías pueden ser jerárquicas, y se pueden desarrollar con varios niveles de clasificación. Cualquier taxonomía debería ser jerárquica y tener capacidad para subdividirse en niveles de resolución cada vez más finos, lo que ayudará a mantener un nivel de detalle suficiente.

### B.2.2.2 Uso

Las listas de control, clasificaciones y taxonomías se pueden diseñar para aplicación a nivel estratégico u operacional. Se pueden aplicar mediante cuestionarios, entrevistas, talleres estructurados o combinaciones de los tres, en métodos presenciales o computarizados.

Los siguientes son algunos ejemplos de listas de chequeo, clasificaciones o taxonomías usados a nivel estratégico:

- DOFA (debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas) identifica factores en el contexto interno y externo para ayudar a establecer los objetivos y las estrategias para alcanzarlos, teniendo en cuenta el riesgo.
- PESTLE, STEEP, STEEPLED, etc. son siglas que representan tipos de factores por considerar al establecer el contexto o identificar riesgos [14]. Las letras de la sigla (en inglés) representan: Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental, Legal, Ético y Demográfico. Se pueden seleccionar categorías pertinentes para la situación particular y desarrollar listas de chequeo para ejemplos de cada categoría.
- La consideración de los objetivos estratégicos, los factores críticos de éxito para alcanzar los objetivos, las amenazas a los factores de éxito y los factores de riesgo. A partir de esto es posible desarrollar tratamientos de riesgo y señales de alerta temprana para los factores de riesgo.

A nivel operacional, se utilizan listas de chequeo de peligros para identificar los peligros dentro de la HAZID (Identificación de Peligros) y el Análisis Preliminar de Peligros (PHA)[15]. Se trata de evaluaciones preliminares del riesgo para la seguridad que suelen llevarse a cabo en la fase inicial de diseño de un proyecto.

Las categorizaciones generales del riesgo incluyen:

- por fuente de riesgo: precios de mercado, incumplimiento de la contraparte, fraude, riesgos para la seguridad, etc.;
- por consecuencia, aspectos o dimensiones de los objetivos o del desempeño.

Las categorías de riesgo previamente identificadas pueden ser útiles para dirigir la reflexión acerca del riesgo a través de una amplia gama de cuestiones. Sin embargo, es difícil asegurar que estas categorías sean exhaustivas y, al subdividir el riesgo de una manera predefinida, la reflexión se orienta a lo largo de líneas particulares y se podrían pasar por alto aspectos importantes del riesgo.

Las listas de comprobación, tipologías y taxonomías se utilizan dentro de otras técnicas descritas en este documento; por ejemplo, las palabras clave en HAZOP B.2.4 y las categorías en un análisis de Ishikawa (B.3.3). En la norma IEC 62740:2015 [16] se presenta una taxonomía que se puede usar para considerar los factores humanos cuando se identifica el riesgo.

En general, cuanto más específica sea la lista de chequeo, más se restringirá su uso al contexto particular en el que se desarrolle. Las palabras que proporcionan indicaciones generales suelen ser más productivas al estimular un nivel de creatividad a la hora de identificar el riesgo.

#### **B.2.2.3 Elementos de entrada**

Los elementos de entrada son datos o modelos a partir de los cuales se pueden desarrollar listas de chequeo, taxonomías o clasificaciones válidas.

#### **B.2.2.4 Elementos de salida**

Los elementos de salida son:

- listas de chequeo, indicaciones o categorías y esquemas de clasificación;
- la comprensión de los riesgos derivados de su uso, incluidas (en algunos casos) las listas de riesgos y los grupos de riesgos.

#### **B.2.2.5 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas de las listas de chequeo, taxonomías y tipografías incluyen:

- Promueven una comprensión común del riesgo entre las partes interesadas.
- Cuando están bien diseñados, aportan amplios conocimientos y experiencia a un sistema fácil de usar para no expertos.
- Una vez desarrollados, requieren pocos conocimientos y experiencia de especialistas.

Las limitaciones incluyen:

- Su uso es limitado en situaciones nuevas en las que no existe una historia pasada pertinente o en situaciones diferentes de aquellas para las que se desarrollaron.
- Abordan lo que ya se conoce o se imagina.
- A menudo son genéricas y podrían no aplicarse a las circunstancias particulares que se consideran.
- Su complejidad puede dificultar la identificación de relaciones (por ejemplo, interconexiones y agrupaciones alternativas).
- La falta de información puede dar lugar a coincidencias parciales y/o vacíos (por ejemplo, esquemas que son mutuamente excluyentes y exhaustivos colectivamente).
- Pueden fomentar un tipo de comportamiento relacionado con "marcar casillas" en lugar de explorar ideas.

#### B.2.2.6 Documentos de referencia

- [17] BROUGHTON, Vanda, *Essential Classification*.
- [18] BAILEY, Kenneth, *Typologies and Taxonomies: An Introduction to Classification Techniques*.
- [19] VDI 2225 Blatt 1, Konstruktionsmethodik. Technisch-Wirtschaftliches Konstruieren. Vereinfachte Kostenermittlung, 1997 Beuth Verlag.

#### B.2.3 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF) y análisis de modo y efectos de falla y criticidad (AMEFC)

##### B.2.3.1 Descripción general

En AMEFC, un equipo subdivide un hardware, un sistema, un proceso o un procedimiento en elementos. Para cada elemento se consideran las formas en que podría fallar, así como las causas y efectos de la falla. El AMEF puede ir seguido de un análisis de criticidad que define la importancia de cada modo de falla (AMEFC).

Para cada elemento se registra lo siguiente:

- su función;
- la falla que puede producirse (modo de falla);
- los mecanismos que pueden producir estos modos de falla;
- la naturaleza de las consecuencias, en caso de falla;
- si la falla es inofensiva o perjudicial;

- cómo y cuándo se puede detectar la falla;
- las disposiciones inherentes que existen para compensar la falla.

Para el AMEFC, el equipo de estudio clasifica cada uno de los modos de falla identificados, en función de su criticidad. Se pueden utilizar varios métodos diferentes de criticidad. Los métodos utilizados con más frecuencia son la matriz de consecuencia y posibilidad cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa de consecuencias/posibilidades (B.10.3) o un número de la prioridad del riesgo (NPR). También se puede obtener una medida cuantitativa de la criticidad de las tasas de falla reales y una medida cuantitativa de las consecuencias cuando estas se conocen.

**NOTA** El NPR es un método de índice (B.8.6) que toma el producto de las clasificaciones de las consecuencias de la falla, la posibilidad de la falla y la capacidad de detectar el problema (detección). Una falla tiene mayor prioridad si es difícil de detectar.

### B.2.3.2 Uso

El AMEF/AMEFC se puede aplicar durante el diseño, la fabricación o la operación de un sistema físico para mejorar el diseño, seleccionar entre alternativas de diseño o planificar un programa de mantenimiento. También se puede aplicar a procesos y procedimientos, como en procedimientos médicos y procesos de fabricación y se puede realizar a cualquier nivel de desglose de un sistema, desde diagramas de bloques hasta componentes detallados de un sistema o etapas de un proceso.

El AMEF se puede utilizar con el fin de proporcionar información para técnicas de análisis como el análisis de árbol de fallas y puede ser un punto de partida para un análisis de causa raíz.

### B.2.3.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen información sobre el sistema que se va a analizar y sus elementos con suficiente detalle para llevar a cabo un análisis significativo de las formas en que cada elemento puede fallar y de las consecuencias en caso de que esto ocurriera. La información necesaria puede incluir dibujos y diagramas de flujo, detalles del entorno en el que funciona el sistema e información histórica sobre fallas, cuando se disponga de ella.

El AMEF lo realiza normalmente un equipo multifuncional con conocimiento profundo del sistema que se está analizando, dirigido por un facilitador capacitado. Es importante que el equipo abarque todas las áreas de especialización pertinentes.

### B.2.3.4 Elementos de salida

Los elementos de salida del AMEF son:

- una hoja de trabajo con los modos de falla, efectos, causas y controles existentes;
- una medida de la criticidad de cada modo de falla (si es AMEFC) y la metodología utilizada para definirla;
- cualquier acción recomendada, por ejemplo, para análisis adicionales, cambios de diseño o características que deban incorporarse en los planes de ensayo.

El AMEFC suele proporcionar una clasificación cualitativa de la importancia de los modos de falla, pero puede arrojar un resultado cuantitativo si se utilizan datos adecuados sobre la tasa de fallas y consecuencias cuantitativas.

### B.2.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de AMEF/AMEFC incluyen:

- Se puede aplicarse ampliamente a modos humanos y técnicos de sistemas, hardware, software y procedimientos.
- Identifica los modos de falla, sus causas y sus efectos en el sistema, y los presenta en un formato de fácil lectura.
- Evita la necesidad de costosas modificaciones a los equipos en servicio al identificar los problemas en las primeras etapas del proceso de diseño.
- Proporciona elementos de entrada para los programas de mantenimiento y seguimiento al resaltar las características clave a las que se debe hacer seguimiento.

Las limitaciones incluyen:

- AMEF solo se puede utilizar para identificar modos de falla individuales, no combinaciones de modos de falla.
- A menos que los estudios estén controlados y enfocados adecuadamente, pueden llevar mucho tiempo y ser costosos.
- AMEF puede ser difícil y tedioso para sistemas complejos de múltiples capas.

### B.2.3.6 Documento de referencia

[20] IEC 60812, *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA)*.

## B.2.4 Estudios de peligro y operabilidad (HAZOP)

### B.2.4.1 Descripción general

Un estudio HAZOP es un examen estructurado y sistemático de un proceso, procedimiento o sistema planificado o existente que involucra la identificación de desviaciones potenciales de la intención del diseño y el examen de sus posibles causas y consecuencias.

Dentro de un taller coordinado, el equipo de estudio:

- subdivide el sistema, proceso o procedimiento en elementos más pequeños;
- acuerda la intención del diseño para cada elemento, incluyendo la definición de los parámetros pertinentes (como el flujo o la temperatura en el caso de un sistema físico);

- aplica palabras-guía sucesivamente a cada parámetro de cada elemento para plantear posibles desviaciones en la intención del diseño, que podrían tener resultados indeseables;
 

NOTA No todas las combinaciones de parámetros de las palabras-guía son significativas.
- llega a acuerdos sobre la causa y las consecuencias en cada caso, sugiriendo cómo se podrían tratar;
- documenta la discusión y llega a acuerdos sobre posibles acciones para tratar los riesgos identificados.

En la Tabla B.1 se presentan ejemplos de palabras-guía de uso común para los sistemas técnicos. Se pueden usar palabras similares como "demasiado pronto", "demasiado tarde", "demasiado", "demasiado poco", "demasiado largo", "demasiado corto", "dirección incorrecta", "objeto incorrecto", "acción incorrecta" para identificar modos de error humano.

Las palabras-guía se aplican a parámetros como:

- las propiedades físicas de un material o proceso;
- las condiciones físicas como la temperatura o la velocidad;
- el tiempo;
- una intención especificada de un componente de un sistema o diseño (por ejemplo, transferencia de información);
- aspectos operacionales.

**Tabla B.1. Ejemplos de palabras-guía básicas y sus significados genéricos**

Palabra-guía	Definición
No	No se logra ninguna parte del resultado deseado, o la condición prevista está ausente
Más (mayor)	Incremento cuantitativo
Menos (menor)	Reducción cuantitativa
También	Incremento/modificación cualitativa (por ejemplo, material adicional)
Parte de	Reducción/modificación cualitativa (por ejemplo, solo uno de dos componentes en una mezcla).
Inverso/opuesto	Opuesto lógico a la intención del diseño (por ejemplo, contraflujo)
Diferente de	Sustitución completa, ocurre algo completamente diferente (por ejemplo, material equivocado)
Temprano	Relativo a la hora del reloj
Tarde	Relativo a la hora del reloj

#### B.2.4.2 Uso

Los estudios HAZOP se desarrollaron inicialmente para analizar sistemas de procesos químicos, pero se han extendido a otros tipos de sistemas, incluyendo los sistemas de energía mecánica, electrónica y eléctrica, sistemas de software, cambios organizacionales, comportamiento humano y diseño y revisión de contratos legales.

El proceso HAZOP puede abordar todas las formas de desviación de la intención del diseño debido a deficiencias en el diseño, los componentes, los procedimientos planificados y las acciones humanas. Se utiliza con mayor frecuencia para mejorar un diseño o identificar los riesgos asociados con un cambio de diseño. Normalmente se lleva a cabo en la etapa de diseño de detalle, cuando se dispone de un diagrama completo del proceso previsto y de la información de diseño de apoyo, pero mientras que los cambios de diseño siguen siendo factibles. Sin embargo, se puede llevar a cabo en un enfoque por etapas con diferentes palabras-guía para cada etapa a medida que el diseño se desarrolla en detalle. Un estudio HAZOP también se puede llevar a cabo durante la operación, pero los cambios requeridos pueden ser costosos en esa etapa.

#### B.2.4.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen información actualizada sobre el sistema que se va a revisar y la intención y las especificaciones de desempeño del diseño. Para el hardware esto puede incluir dibujos, hojas de especificaciones, diagramas de flujo, diagramas lógicos y de control de procesos, y procedimientos de operación y de mantenimiento. Para los HAZOP no relacionados con hardware, los elementos de entrada pueden ser cualquier documento que describa funciones y elementos del sistema o procedimiento en estudio, por ejemplo, diagramas organizacionales y descripciones de funciones, o un borrador de contrato o procedimiento.

Por lo general, un estudio HAZOP lo lleva a cabo un equipo multidisciplinario que debería incluir diseñadores y operadores del sistema, así como personas que no están directamente involucradas en el diseño o en el sistema, proceso o procedimiento bajo revisión. El líder/facilitador del estudio debería estar capacitado y tener experiencia en el manejo de estudios HAZOP.

#### B.2.4.4 Elementos de salida

Los elementos de salida incluyen las actas de la(s) reunión(es) de HAZOP, y los registros de las desviaciones de cada punto de revisión. Los registros deberían incluir la palabra-guía utilizada y las posibles causas de las desviaciones. También pueden incluir acciones para abordar los problemas identificados y la persona responsable de la acción.

#### B.2.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de HAZOP incluyen:

- Proporciona los medios para examinar sistemáticamente un sistema, proceso o procedimiento a fin de determinar cómo podría fallar en el logro de su propósito.
- Proporciona un examen detallado y exhaustivo por parte de un equipo multidisciplinario.
- Identifica problemas potenciales en la etapa de diseño de un proceso.
- Genera soluciones y acciones de tratamiento de riesgos.
- Es aplicable a una amplia gama de sistemas, procesos y procedimientos.
- Permite la consideración explícita de las causas y consecuencias del error humano.
- Crea un registro escrito del proceso, que se puede utilizar para demostrar la debida diligencia.

Las limitaciones incluyen:

- Un análisis detallado puede llevar mucho tiempo y, por lo tanto, ser costoso.
- La técnica tiende a ser repetitiva, ya que se pueden encontrar los mismos problemas varias veces; por lo tanto, puede ser difícil mantener la concentración.
- Un análisis detallado requiere un alto nivel de documentación o especificación de los sistemas/procesos y procedimientos.
- Puede enfocarse en encontrar soluciones detalladas en lugar de cuestionar hipótesis fundamentales (sin embargo, esto se puede mitigar mediante un enfoque por etapas).
- La discusión puede centrarse en los detalles del diseño, y no en cuestiones más amplias o externas.
- Los límites en el diseño (borrador) y la intención del diseño, así como el alcance y los objetivos asignados al equipo.
- El proceso se basa en gran medida en los conocimientos y experiencia de los diseñadores, quienes podrían tener dificultad para ser lo suficientemente objetivos en la búsqueda de problemas en sus diseños.

#### B.2.4.6 Documento de referencia

- [21] IEC 61882, *Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies). Application Guide*.

### B.2.5 Análisis de escenario

#### B.2.5.1 Descripción general

El análisis de escenario es un nombre dado a una serie de técnicas que involucran el desarrollo de modelos acerca de cómo podría resultar el futuro. En términos generales, consiste en definir un escenario plausible y trabajar sobre lo que podría suceder en función de varios desarrollos futuros posibles.

Para escalas de tiempo relativamente cortas, este análisis puede involucrar la extrapolación de lo que ha ocurrido en el pasado. Para escalas de tiempo más largas, el análisis de escenario puede implicar la construcción de un escenario imaginario pero creíble y luego explorar la naturaleza de los riesgos dentro de este escenario. La mayoría de las veces la aplican grupos de partes interesadas con diferentes intereses, conocimientos y experiencia. El análisis de escenario implica definir con algún detalle el escenario o escenarios que se deben considerar y explorar las implicaciones de este escenario y del riesgo asociado. Los cambios considerados comúnmente incluyen:

- cambios en la tecnología;
- posibles decisiones futuras que podrían tener una variedad de resultados;
- las necesidades de las partes interesadas y cómo podrían cambiar;

- cambios en el entorno macroeconómico (reglamentario, demográfico, etc.);
- cambios en el entorno físico.

#### B.2.5.2 Uso

El análisis de escenario se utiliza con mayor frecuencia para identificar el riesgo y explorar consecuencias. Se puede utilizar tanto con fines estratégicos como operacional, para la organización en su totalidad o para parte de ella.

El análisis de escenario a largo plazo intenta ayudar a la planificación de grandes cambios en el futuro, como los que se han producido en los últimos 50 años en la tecnología, las preferencias de los consumidores, las actitudes sociales, etc. El análisis de escenario no puede predecir las posibilidades de tales cambios, pero puede considerar las consecuencias y ayudar a las organizaciones a desarrollar las fortalezas y la resiliencia necesarias para adaptarse a cambios previsibles. Se puede utilizar para anticipar cómo se podrían desarrollar tanto las amenazas como las oportunidades, y se puede utilizar para todo tipo de riesgos.

El análisis de escenario a corto plazo se utiliza para explorar las consecuencias de un evento desencadenante. Los escenarios probables se pueden extrapolar a partir de lo que ha ocurrido en el pasado o de modelos. Algunos ejemplos de tales aplicaciones incluyen la planificación para situaciones de emergencia o interrupciones de negocios. Si no se dispone de datos, se utilizan las opiniones de los expertos, pero en este caso es muy importante prestar la máxima atención a las explicaciones de sus puntos de vista.

#### B.2.5.3 Elementos de entrada

Para llevar a cabo un análisis de escenario, se necesitan datos sobre las tendencias y los cambios actuales, así como las ideas para cambios futuros. Para escenarios complejos o de muy largo plazo, se requieren conocimientos y experiencia en la técnica.

#### B.2.5.4 Elementos de salida

Un elemento de salida puede ser una "historia" para cada escenario, que narre cómo se podría pasar del presente al escenario del sujeto. Los efectos considerados pueden ser tanto beneficiosos como perjudiciales y las historias pueden incluir detalles plausibles que añaden valor a los escenarios.

Otros elementos de salida pueden incluir la comprensión de los posibles efectos de las políticas o planes para varios futuros plausibles, una lista de los riesgos que podrían surgir si estos futuros se desarrollaran y, en algunas aplicaciones, una lista de indicadores avanzados para esos riesgos.

#### B.2.5.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de escenario incluyen:

- Tiene en cuenta una serie de posibles futuros. Esto puede ser preferible al enfoque tradicional de confiar en pronósticos que asumen que los eventos futuros probablemente seguirán las tendencias del pasado. Esto es importante en situaciones en las que hay poco conocimiento actual sobre el cual basar las predicciones o en las que se están considerando los riesgos a largo plazo.

- Apoya la diversidad de pensamiento.
- Estimula el seguimiento de los indicadores de cambio avanzados.
- Las decisiones tomadas para los riesgos identificados pueden ayudar a crear resiliencia para lo que sea que ocurra.

Las limitaciones incluyen:

- Los escenarios utilizados podrían no tener una base adecuada, por ejemplo, los datos podrían ser especulativos. Esto puede producir resultados poco realistas que podrían no ser reconocidos como tales.
- Hay poca evidencia de que los escenarios explorados para el futuro a largo plazo sean los que ocurren realmente.

### B.2.5.6 Documentos de referencia

- [22] RINGLAND, Gill. *Scenarios in Business*.
- [23] Van der HEIJDEN, Kees. *Scenarios: The art of Strategic Conversation*.
- [24] CHERMACK, Thomas J. *Scenario Planning in Organizations*.
- [25] MUKUL PAREEK, *Using Scenario Analysis for Managing Technology Risk*.

## B.2.6 Técnica estructurada del tipo “¿qué pasaría si?” (SWIFT)

### B.2.6.1 Descripción general

SWIFT es una técnica de identificación de riesgo de alto nivel que se puede utilizar de forma independiente o como parte de un enfoque por etapas para hacer más eficientes los métodos ascendentes como HAZOP o AMEF. SWIFT utiliza una lluvia de ideas estructurada (B.1.2) en un taller coordinado en el que se combinan un grupo predeterminado de palabras-guía (tiempo, cantidad, etc.) con indicaciones obtenidas de los participantes que a menudo comienzan con frases como “¿qué pasaría si?” o “¿cómo podría?”. Es similar al HAZOP pero se aplica en un sistema o subsistema, no en la intención del diseñador.

Antes de dar inicio al estudio, el facilitador prepara una lista de indicaciones para permitir una revisión exhaustiva de los riesgos o de las fuentes de riesgo. Al comienzo del taller se discute el contexto, alcance y propósito del SWIFT y se articulan los criterios para el éxito. Utilizando las palabras-guía y las indicaciones de “¿qué pasaría si?”, el facilitador pide a los participantes presentar y discutir cuestiones tales como:

- riesgos conocidos;
- fuentes y factores de riesgo;
- experiencia previa, éxitos e incidentes;

- controles conocidos y existentes;
- requisitos y limitaciones reglamentarias.

El facilitador utiliza la lista de indicaciones para hacer seguimiento la discusión y sugerir cuestiones y escenarios adicionales para que el equipo los discuta. El equipo considera si los controles son adecuados, o considera tratamientos potenciales. Durante esta discusión, se plantean más preguntas de "¿qué pasaría si...?"

En algunos casos se identifican riesgos específicos y se puede registrar una descripción del riesgo, sus causas, consecuencias y controles. Además, se pueden identificar fuentes o factores de riesgo más generales, problemas de control o cuestiones sistémicas.

Cuando se genera una lista de riesgos, a menudo se utiliza un método de evaluación del riesgo cualitativo o semicuantitativo, para jerarquizar las acciones creadas en términos de nivel de riesgo. Para esto tienen en cuenta normalmente los controles existentes y su eficacia.

#### B.2.6.2 Uso

La técnica se puede aplicar a sistemas, elementos de planta, procedimientos y organizaciones en general. En particular, se utiliza para examinar las consecuencias de los cambios y los riesgos que de ellos se derivan, y se pueden considerar tanto los resultados positivos como los negativos. Esta técnica también se puede utilizar para identificar los sistemas o procesos en los cuales valdría la pena invertir los recursos para un HAZOP o AMEF más detallado.

#### B.2.6.3 Elementos de entrada

Es necesario comprender claramente el sistema, el procedimiento, el elemento de la planta y/o el cambio y los contextos externos e internos. Esto se lleva a cabo mediante entrevistas, reuniones del equipo multifuncional y utilizando documentos, planos y dibujos que suministra el facilitador. Normalmente, el sistema para el estudio se divide en elementos para facilitar el proceso de análisis. Aunque el facilitador necesita estar entrenado en la aplicación de SWIFT, por lo general esto se puede lograr rápidamente.

#### B.2.6.4 Elementos de salida

Los elementos de salida incluyen un registro de riesgos con acciones o tareas clasificadas por riesgo que se pueden utilizar como base para un plan de tratamiento.

#### B.2.6.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de SWIFT incluyen:

- Tiene aplicación amplia a todas las formas de planta o sistema físico, situación o circunstancia, organización o actividad.
- Necesita una preparación mínima por parte del equipo.
- Es relativamente rápido y los principales riesgos y fuentes de riesgo se hacen evidentes rápidamente durante las sesiones de taller.

- El estudio está "orientado a los sistemas" y permite a los participantes observar la respuesta del sistema a las desviaciones en lugar de limitarse únicamente a examinar las consecuencias de las fallas de los componentes.
- Se puede utilizar para identificar oportunidades de mejora de los procesos y sistemas y, en general, para identificar las acciones que conducen y aumentan sus posibilidades de éxito.
- La participación en el taller por parte de quienes rinden cuentas de los controles existentes y de otras acciones de tratamiento del riesgo refuerza su responsabilidad.
- Crea un registro de riesgos y un plan de tratamiento de riesgos con poco esfuerzo.

Las limitaciones incluyen las siguientes:

- Si el equipo del taller no tiene suficiente experiencia o si el sistema de indicaciones no es exhaustivo, es posible que no se identifiquen algunos riesgos o peligros.
- La aplicación de alto nivel de la técnica podría no revelar causas complejas, detalladas o correlacionadas.
- A menudo, las recomendaciones son genéricas, por ejemplo, el método no proporciona apoyo para controles robustos y detallados sin que se lleven a cabo análisis adicionales.

#### B.2.6.6 Documento de referencia

- [26] CARD, Alan J. WARD, James R. and CLARKSON, P. John. Beyond FMEA: The Structured What-If Technique (SWIFT)

### B.3 TÉCNICAS PARA DETERMINAR LAS FUENTES, CAUSAS Y FACTORES DE RIESGO

#### B.3.1 Generalidades

La comprensión de las causas de los eventos potenciales y de los factores de riesgo permite diseñar estrategias para prevenir las consecuencias adversas o mejorar las positivas. A menudo, hay una jerarquía de causas con varias capas antes de que se alcance la causa raíz. Generalmente las causas se analizan hasta que las acciones se puedan determinar y justificar.

Las técnicas de análisis causal pueden explorar las percepciones de la causa bajo un conjunto de encabezamientos predeterminados, como en el método Ishikawa (véase B.3.3), o pueden adoptar un enfoque más lógico, como en el análisis de árbol de fallas y en el análisis de árbol de éxito (véase B.5.7).

El análisis de corbatín (véase B.4.2) se puede utilizar para representar gráficamente las causas y consecuencias, y mostrar cómo se controlan.

Varias de las técnicas descritas en la norma IEC 62740[16] se pueden utilizar de manera proactiva para analizar las posibles causas de los eventos que podrían ocurrir en el futuro, así como de los que ya ocurrieron. Estas técnicas no se mencionan aquí.

### B.3.2 Enfoque cindínico

#### B.3.2.1 Descripción general

Cindínico significa literalmente la ciencia del peligro. El enfoque cindínico identifica las fuentes y factores de riesgo intangibles que podrían dar lugar a muchas consecuencias diferentes. En particular, identifica y analiza:

- inconsistencias, ambigüedades, omisiones, ignorancia (denominados déficits), y
- divergencias entre las partes interesadas (denominadas disonancias).

El enfoque cindínico comienza con la recolección de información sobre el sistema u organización objeto del estudio y se define la situación cínica mediante el espacio geográfico, temporal y cronológico y un conjunto de redes o grupos de partes interesadas.

A continuación, utiliza entrevistas semiestructuradas (véase B.1.5) para recopilar información en distintos momentos ( $t_1, t_2, \dots, t_i$ ) sobre el estado del conocimiento y el estado de ánimo de cada parte interesada en relación con los cinco criterios del enfoque cindínico, como se indica a continuación:

- meta (propósito principal de la organización);
- valores (considerados en alta estima por las partes interesadas);
- las reglas (derechos, estándares, procedimientos, etc. que rigen sus logros);
- datos (en los que se basa la toma de decisiones);
- modelos (técnicos, organizacionales, humanos, etc., que utilizan datos para la toma de decisiones).

NOTA Los elementos que caracterizan los contextos internos y externos se pueden reunir de acuerdo con los cinco criterios del enfoque cindínico.

El enfoque tiene en cuenta tanto las percepciones como los hechos.

Una vez obtenida esta información, se analizan la coherencia entre los objetivos por alcanzar y los cinco criterios cindínicos y se elaboran tablas con los déficits y las disonancias.

#### B.3.2.2 Uso

El objetivo del enfoque cindínico es comprender la razón por la cual, a pesar de todas las medidas de control adoptadas para prevenir desastres, estos siguen ocurriendo. Desde entonces, el enfoque se ha ampliado para mejorar la eficiencia económica de las organizaciones. La técnica busca fuentes sistémicas y factores de riesgo dentro de una organización que puedan acarrear consecuencias de amplio alcance. Se aplica a nivel estratégico y se puede utilizar para identificar los factores que actúan de forma favorable o desfavorable durante la evolución del sistema hacia nuevos objetivos.

También se puede utilizar para validar la consistencia de cualquier proyecto y es especialmente útil en el estudio de sistemas complejos.

### B.3.2.3 Elementos de entrada

Información similar a la descrita anteriormente. El análisis suele involucrar a un equipo multidisciplinario que incluye a aquellos con experiencia operacional en la vida real y a aquellos que llevarán a cabo acciones de tratamiento para abordar las fuentes de riesgo identificadas.

### B.3.2.4 Elementos de salida

Los elementos de salida son tablas que indican disonancias y déficits entre las partes interesadas, como se ilustra en los ejemplos siguientes. La Tabla B.2 presenta una matriz que indica los déficits de cada actor frente a los cinco criterios de análisis (metas, valores, reglas, modelos y datos). Al comparar la información recopilada como entrada entre situaciones tomadas en los momentos  $t_1$ ,  $t_2$ , ...,  $t_i$ , es posible identificar déficits entre diferentes situaciones.

**Tabla B.2. Tabla de déficits para cada parte interesada**

Partes interesadas	Criterio para análisis análisis				
	Metas	Valores	Reglas	Datos	Modelos
S1		Enfoque en un número limitado de valores	No hay referencia a procedimientos	No hay referencia a mediciones	No hay referencia a modelos
S2	Inconsistencia entre metas y reglas	No hay jerarquización entre valores	No hay jerarquización entre reglas	Desconocimiento de la experiencia y realimentación de otros países	Desconocimiento de modelos específicos
S3	Inconsistencia entre metas y estándares	Enfoque en un valor específico (por ejemplo, empleo)	No hay jerarquización entre reglas	No se presta atención a datos específicos (por ejemplo, lesiones ocupacionales)	Falta de priorización al seleccionar modelos

La Tabla B.3 es una matriz en la que las partes interesadas pertinentes están representadas en ambos ejes y la diferencia de opiniones entre las partes interesadas (las llamadas disonancias) se muestra en las celdas de la matriz. Estas tablas posibilitan establecer un programa de reducción de déficits y disonancias.

**Tabla B.3. Tabla de disonancias entre partes interesadas**

Partes interesadas	Partes interesadas			
	S1	S2	S3	S4
S1		S1 y S2 no comparten las mismas metas	S1 y S3 no comparten los mismos valores	S1 y S4 no comparten los mismos sistemas de medición
S2			S2 y S3 no coinciden en la interpretación de los procedimientos	S2 y S4 no coinciden en los datos
S3				S3 y S4 no coinciden en la interpretación de las reglas
S4				

### B.3.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del enfoque cindínico incluyen:

- Es un enfoque sistémico, multidimensional y multidisciplinario.
- Proporciona conocimiento del potencial de riesgo de un sistema y de su consistencia.
- Considera los aspectos humanos y organizacionales del riesgo en cualquier nivel de responsabilidad.
- Integra las nociones de espacio y de tiempo.
- Proporciona soluciones para reducir los riesgos.

Las limitaciones incluyen:

- No intenta priorizar las fuentes de riesgo o los riesgos.
- Sólo recientemente ha comenzado a difundirse en la industria. Por lo tanto, no se beneficia de la misma madurez adquirida por medio de desarrollos pasados, como sí lo hacen los enfoques tradicionales.
- Dependiendo del número de partes interesadas involucradas, puede requerir mucho tiempo y recursos.

### B.3.2.6 Documentos de referencia

- [27] KERVERN, G-Y. Elements Fondamentaux des Cindyniques
- [28] KERVERN, G-Y. Latest Advances in Cindynics
- [29] KERVERN, G-Y. & BOULENGER, P. Cindyniques. Concepts et mode d'emploi

## B.3.3 Método de análisis de Ishikawa (espina de pescado)

### B.3.3.1 Descripción general

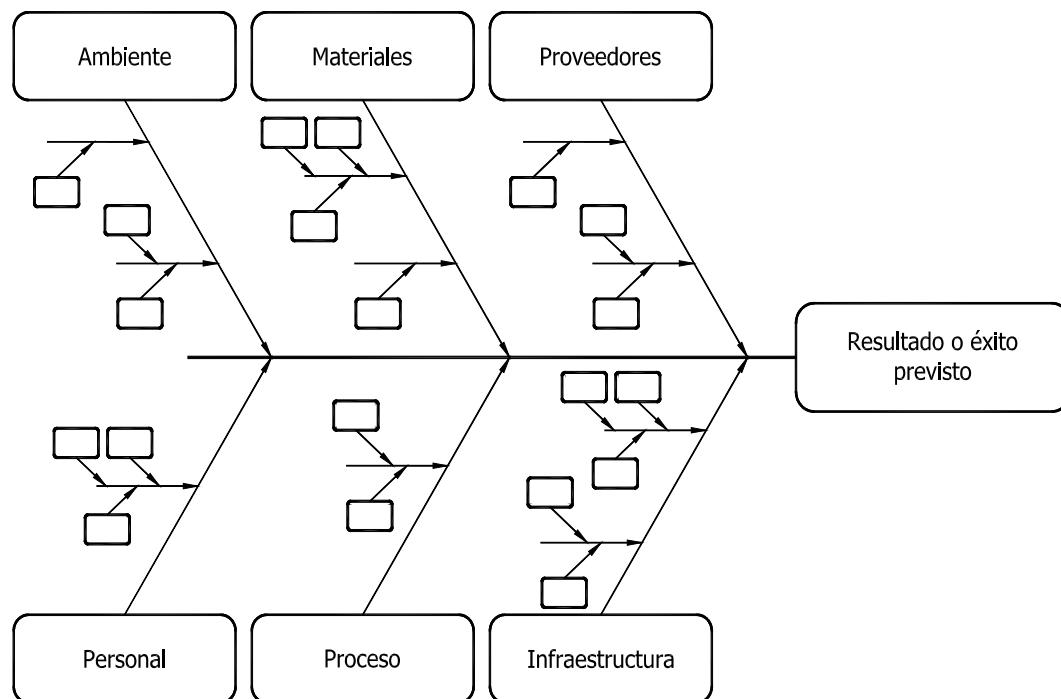
El análisis de Ishikawa utiliza un enfoque de equipo para identificar las causas posibles de cualquier evento, efecto, problema o situación deseable o indeseable. Los posibles factores que contribuyen se organizan en categorías amplias para cubrir las causas humanas, técnicas y organizacionales. La información se representa en un diagrama de espina de pescado (también llamado Ishikawa) (véase la Figura B.1). Los pasos principales para realizar el análisis son los siguientes.

- Determine el efecto por analizar y colóquelo en una caja como encabezado del diagrama de pescado. El efecto puede ser positivo (un objetivo) o negativo (un problema);
- Llegue a un acuerdo sobre las principales categorías de causas. Algunos ejemplos de categorías de uso común incluyen:

- Las 6 M, por ejemplo: métodos, maquinaria, gestión (*management*), materiales, mano de obra, dinero (*money*).
- Los materiales, métodos y procesos, ambiente, equipos, personas, mediciones.

NOTA Se puede utilizar cualquier conjunto consensuado de categorías que se ajusten a las circunstancias que se están analizando. La Figura B.1 ilustra otra posibilidad.

- Pregunte de forma iterativa "¿por qué?" y "¿cómo podría ocurrir esto?" para explorar las causas y los factores que influyen en cada categoría, y coloque cada uno de ellos en las espinas del diagrama de espina de pescado.
- Revise todas las ramas para verificar la coherencia y la exhaustividad y asegúrese de que las causas se aplican al efecto principal.
- Identifique los factores más importantes basándose en la opinión del equipo y en la evidencia disponible.



**Figura B.1. Ejemplo de diagrama de Ishikawa (espina de pescado)**

El diagrama se desarrolla a menudo en un escenario de taller.

### B.3.3.2 Uso

El análisis de Ishikawa se puede utilizar cuando se realiza un análisis de causa raíz de eventos que han ocurrido, o para identificar factores que podrían contribuir a resultados que no han ocurrido aún. También se puede utilizar para examinar situaciones a cualquier nivel en una organización, en cualquier escala de tiempo.

Los diagramas se utilizan generalmente de forma cualitativa. Es posible asignar posibilidades a las causas genéricas, y posteriormente a las subcausas, en función del grado de creencia sobre su pertinencia. Sin embargo, los factores que contribuyen a menudo interactúan y contribuyen al efecto de manera compleja y puede haber causas no identificadas que invalidan la cuantificación.

#### B.3.3.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada son el conocimiento y la experiencia de los participantes y la comprensión de la situación que se está examinando.

#### B.3.3.4 Elemento de salida

El elemento de salida son las causas percibidas del efecto analizado, que normalmente se presentan en forma de espina de pescado o diagrama de Ishikawa. El diagrama de espina de pescado está estructurado de manera que las categorías principales están representadas en las espinas más grandes y las ramas y sub-ramas describen subcausas más específicas en esas categorías.

#### B.3.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de la técnica de Ishikawa incluyen:

- Fomenta la participación y utiliza el conocimiento del grupo.
- Proporciona un enfoque centrado para la lluvia de ideas o para técnicas de identificación similares.
- Se puede aplicar a una amplia gama de situaciones.
- Proporciona un análisis estructurado de las causas con un elemento gráfico de fácil lectura.
- Permite a la gente reportar problemas en un ambiente neutral.
- Puede utilizarse para identificar los factores que contribuyen a los efectos tanto deseados como no deseados.

NOTA Un enfoque positivo puede fomentar una mayor apropiación y participación.

Las limitaciones incluyen:

- La separación de los factores causales en categorías principales al comienzo del análisis implica que las interacciones entre las categorías podrían no ser consideradas adecuadamente.
- No se identifican las causas potenciales no tratadas en las categorías seleccionadas.

#### B.3.3.6 Documentos de referencia

[30] ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control.

Véanse otras técnicas de análisis causal en la norma IEC 62740[16].

## B.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LOS CONTROLES

### B.4.1 Generalidades

Las técnicas del literal B.4 se pueden utilizar para comprobar si los controles son apropiados y adecuados.

Mediante el análisis de corbatín (B.4.2) y ACDP (B.4.4) se identifican las barreras entre una fuente de riesgo y sus posibles consecuencias y se pueden utilizar para comprobar que las barreras son suficientes.

El sistema HACCP (B.4.3) busca puntos en un proceso en los que se puede hacer seguimiento a las condiciones y se pueden introducir controles cuando hay indicios de que las condiciones están cambiando.

El análisis del árbol de eventos (B.5.6) también se puede utilizar como un análisis cuantitativo de los medios de control al calcular la influencia de los diferentes controles en la probabilidad de las consecuencias.

Cualquier técnica de análisis causal se puede utilizar como base para comprobar que cada causa está controlada.

### B.4.2 Análisis de corbatín

#### B.4.2.1 Descripción general

Un corbatín es una representación gráfica de la trayectoria desde las causas de un evento hasta sus consecuencias. Muestra los controles que modifican la posibilidad del evento y los que modifican las consecuencias si el evento ocurriera. Se puede considerar como una representación simplificada de un árbol de fallas o de éxito (al analizar la causa de un evento) y de un árbol de eventos (al analizar las consecuencias). Los diagramas de corbatín se pueden construir a partir de árboles de fallas y de eventos, pero con frecuencia los equipos los dibujan directamente en un escenario de taller.

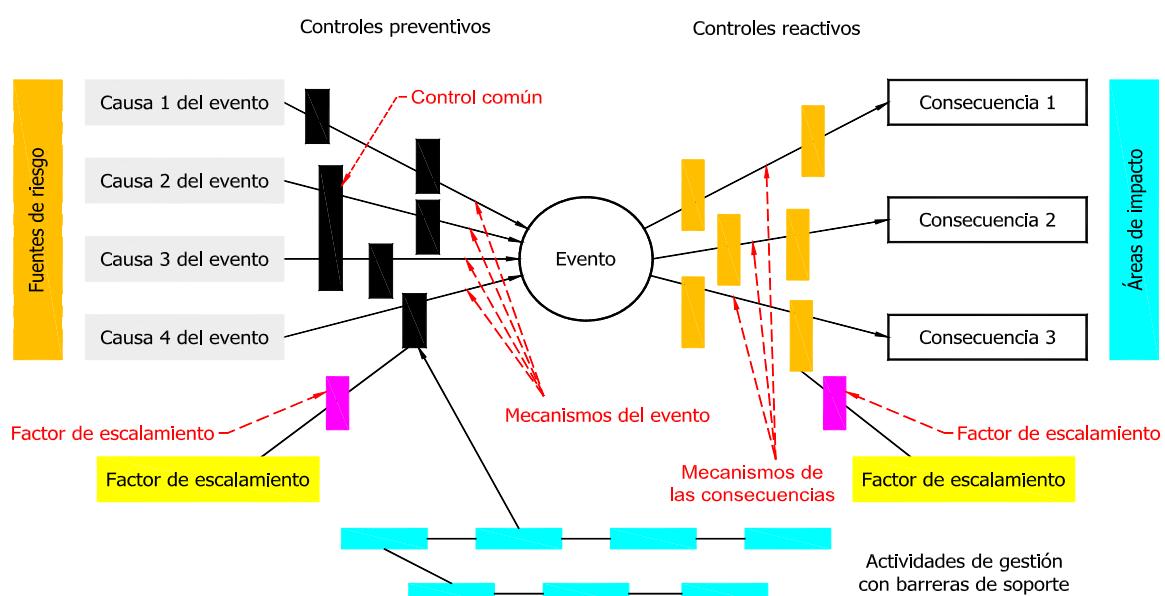


Figura B.2. Ejemplo de corbatín

El corbatín se dibuja de la siguiente manera:

- El evento de interés está representado por el nudo central del corbatín, véase la Figura B.2.
- Las fuentes de riesgo (o peligros/amenazas en un contexto de seguridad) se enumeran a la izquierda del nudo y se unen a él mediante líneas que representan los diferentes mecanismos mediante los cuales las fuentes de riesgo pueden conducir al evento.
- Las barreras o controles de cada mecanismo se ilustran como barras verticales a través de las líneas.
- En el lado derecho del nudo se dibujan líneas que irradian desde el evento hasta cada consecuencia potencial.
- Después del evento, las barras verticales representan controles reactivos o barreras que modifican las consecuencias.
- Se añaden los factores que pueden provocar la falla de los controles (factores de escalamiento), junto con los controles de los factores de escalamiento.
- Las funciones de gestión que apoyan los controles (como la formación y la inspección) se pueden colocar debajo del corbatín, relacionadas con el control respectivo.

Es posible algún nivel de cuantificación en un diagrama de corbatín cuando las trayectorias son independientes, se conoce la probabilidad de una consecuencia o resultado en particular y se puede estimar la probabilidad de que un control falle. Sin embargo, en muchas situaciones, las trayectorias y las barreras no son independientes, los controles pueden ser procedimentales y su eficacia es incierta. Con frecuencia, la manera más apropiada de llevar a cabo la cuantificación es mediante el análisis de árbol de fallas (B.5.7) y el análisis de árbol de eventos (B.5.6) o ACDP (B.4.4).

#### B.4.2.2 Uso

El análisis de corbatín se utiliza para visualizar y comunicar información sobre los riesgos en situaciones en las que un evento tiene una serie de posibles causas y consecuencias. Se puede utilizar para explorar en detalle las causas y consecuencias de los eventos que están registrados de forma sencilla en un registro de riesgos (B.10.2), y se usa especialmente para analizar eventos con consecuencias más graves. Un corbatín se usa al evaluar los controles para comprobar que cada trayectoria de causa a evento y de evento a consecuencia tenga controles eficaces, y que se reconozcan los factores que podrían causar que los controles fallaran (incluyendo las fallas en los sistemas de gestión). Se puede usar como base de un medio para registrar información sobre un riesgo que no se ajusta a la simple representación lineal de un registro de riesgos y se puede usar proactivamente para considerar eventos potenciales y también retrospectivamente para modelar eventos que ya han ocurrido.

El corbatín se utiliza cuando la situación no justifica la complejidad de un análisis completo de árbol de fallas y de árbol de eventos, pero es más compleja de lo que puede representar una sola trayectoria de causa, evento y consecuencia.

Para algunas situaciones se pueden desarrollar corbatines en cascada, en donde las consecuencias de un evento se convierten en la causa del siguiente.

#### B.4.2.3 Elementos de entrada

La entrada incluye información sobre las causas y las consecuencias del evento predefinido, y los controles que podrían modificarlo. Esta información se puede obtener a partir de los elementos de salida de las técnicas de identificación de riesgos y de los controles o de la experiencia de las personas.

#### B.4.2.4 Elemento de salida

El elemento de salida es un diagrama simple que muestra las principales trayectorias de riesgo, los controles implementados y los factores que podrían conducir a la falla del control. También muestra las consecuencias potenciales y las medidas que se pueden tomar después de que el evento haya ocurrido, para modificarlas.

#### B.4.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de corbatín incluyen:

- Es fácil de entender y ofrece una clara representación gráfica clara de un evento y de sus causas y consecuencias.
- Centra su atención en los controles que se supone que están implementados y en su eficacia.
- Se puede utilizar para consecuencias tanto deseables como indeseables.
- Para su uso no es necesario un alto nivel de conocimientos y de experiencia.

Las limitaciones incluyen las siguientes.

- Un corbatín no puede representar una situación en la que las trayectorias desde las causas hasta el evento no son independientes (es decir, en la que habría puertas Y en un árbol de fallas).
- Puede simplificar en exceso situaciones complejas, en particular cuando se intenta cuantificar.

#### B.4.2.6 Documentos de referencia

- [31] LEWIS, S. SMITH, K., *Lessons Learned from real World Application of the Bow-Tie Method*.
- [32] HALE, A. R., GOOSSENS L.H.J., ALE, B.J.M., BELLAMY L.A. POST J. *Managing safety Barriers and Controls at the Workplace*.
- [33] MCCONNELL, P. and DAVIES, M. *Scenario Analysis Under Basel II*.

**B.4.3 Análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP)****B.4.3.1 Descripción general**

El análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP) fue desarrollado para garantizar la inocuidad alimentaria en el programa espacial de la NASA, pero se puede utilizar para procesos o actividades no alimentarias. La técnica proporciona una estructura para identificar las fuentes de riesgo (peligros o amenazas) e implementar controles en todas las partes pertinentes de un proceso para protegerse contra ellas. El sistema HACCP se utiliza a nivel operacional, aunque sus resultados pueden apoyar la estrategia general de una organización. HACCP tiene por objeto asegurar que los riesgos se reduzcan al mínimo mediante el seguimiento y los controles a lo largo de un proceso y no mediante la inspección al final del proceso.

El sistema HACCP consta de los siguientes siete principios:

- 1) identificar los peligros, los factores que influyen en el riesgo y las posibles medidas preventivas;
- 2) determinar los puntos del proceso en los que es posible hacer seguimiento y el proceso se puede controlar para reducir al mínimo las amenazas (los puntos críticos de control o PCC);
- 3) establecer límites críticos para los parámetros a los que se debe hacer seguimiento, es decir, que cada PCC debería operar dentro de parámetros específicos para asegurar el control del riesgo;
- 4) establecer los procedimientos para hacer seguimiento de los límites críticos de cada PCC a intervalos definidos;
- 5) establecer acciones correctivas que se utilizarán cuando el proceso se encuentre por fuera de los límites establecidos;
- 6) establecer procedimientos de verificación;
- 7) implementar procedimientos de mantenimiento de registros y de documentación para cada etapa.

**B.4.3.2 Uso**

HACCP es un requisito en la mayoría de los países para las organizaciones que operan en cualquier punto de la cadena alimentaria, desde la recolección hasta el consumo, para controlar los riesgos de contaminantes físicos, químicos o biológicos.

Su uso se ha extendido a la fabricación de productos farmacéuticos, dispositivos médicos y en otras áreas en las que los riesgos biológicos, químicos y físicos son inherentes a la organización.

El principio de la técnica es identificar las fuentes de riesgo relacionadas con la calidad de los elementos de salida de un proceso y definir los puntos de ese proceso en los que se puede hacer seguimiento de los parámetros críticos y se pueden controlar las fuentes de riesgo. Esta técnica se puede generalizar a muchos otros procesos, incluyendo, por ejemplo, los procesos financieros.

**B.4.3.3 Elementos de entrada**

Los elementos de entrada incluyen:

- un diagrama de flujo básico o un diagrama de proceso;
- información sobre fuentes de riesgo que podrían afectar la calidad, la seguridad o la confiabilidad de los resultados del producto o del proceso;
- información sobre los puntos del proceso en los que se puede hacer seguimiento a los indicadores y se pueden introducir controles.

**B.4.3.4 Elementos de salida**

Los elementos de salida incluyen registros, e incluyen una hoja de trabajo de análisis de peligros y un plan de HACCP.

La hoja de trabajo del análisis de riesgos enumera para cada etapa del proceso:

- los peligros que se pueden introducir, controlar o agravar en esa fase;
- si las amenazas presentan un riesgo significativo (al considerar la consecuencia y la probabilidad utilizando una combinación de experiencia, datos y literatura técnica);
- una justificación de la clasificación de importancia;
- las posibles medidas preventivas para cada peligro;
- si pueden aplicarse medidas de seguimiento o control en esta etapa (es decir, ¿se trata de un PCC?).

El plan de HACCP delinea los procedimientos que se deben seguir para asegurar el control de un diseño, producto, proceso o procedimiento específico. El plan incluye una lista de todos los PCC y para cada uno de ellos enumera:

- los límites críticos de las medidas preventivas;
- las actividades de seguimiento y control continuo (incluyen qué, cómo y cuándo se llevará a cabo el seguimiento y quién lo hará);
- las acciones correctivas necesarias si se detectan desviaciones de los límites críticos;
- las actividades de verificación y de mantenimiento de registros.

**B.4.3.5 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas de HACCP incluyen:

- HACCP es un proceso estructurado que proporciona evidencia documentada para el control de calidad, así como para identificar y reducir los riesgos.

- Se enfoca hacia los aspectos prácticos de cómo y dónde, en un proceso, se pueden encontrar y controlar fuentes de riesgo.
- Proporciona control de riesgos a lo largo de un proceso en lugar de depender de la inspección del producto final.
- Llama la atención sobre el riesgo introducido por las acciones humanas y cómo se puede controlar en el punto de introducción o posteriormente.

Las limitaciones incluyen las siguientes:

- HACCP necesita que se identifiquen los peligros, que se definan los riesgos que representan y que se entienda su importancia como elementos de entrada del proceso. También es necesario definir los controles adecuados. Podría ser necesario combinar HACCP con otras herramientas para proporcionar estos elementos de entrada.
- Al tomar medidas únicamente cuando los parámetros de control exceden los límites definidos se pueden pasar por alto cambios graduales en los parámetros de control que son estadísticamente significativos y que, por lo tanto, se deberían tener en cuenta.

#### B.4.3.6 Documentos de referencia

- [34] ISO 22000, *Food Safety Management Systems. Requirements for any Organization in the Food Chain.*
- [35] *Food Quality and Safety Systems. A Training Manual on Food Hygiene and the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System.*

#### B.4.4 Análisis de capas de protección (ACDP)

##### B.4.4.1 Descripción general

ACDP analiza la reducción del riesgo que se logra mediante un conjunto de controles. Se puede considerar como un caso particular de un árbol de eventos (B.5.6) y algunas veces se lleva a cabo como seguimiento de un estudio HAZOP (B.2.4).

De una lista de riesgos identificados se selecciona un par causa-consecuencia y se identifican las capas de protección independientes (CPI). Una CPI es un dispositivo, sistema o acción que tiene capacidad de prevenir que un escenario avance hasta su consecuencia no deseada. Cada CPI debería ser independiente del evento causal o de cualquier otra capa de protección asociada con el escenario y debería ser auditable. Las CPI incluyen:

- características de diseño;
- dispositivos de protección física;
- interbloqueos y sistemas de apagado;
- alarmas críticas e intervención manual;

- protección física posterior al evento;
- sistemas de respuesta a emergencias.

Los procedimientos estándar y/o las inspecciones no añaden directamente barreras a las fallas, por lo que en general no se deberían considerar como CPI. Se estima la probabilidad de falla de cada CPI y se realiza un cálculo de orden de magnitud para determinar si la protección general es adecuada para reducir el riesgo a un nivel tolerable.

La frecuencia de ocurrencia de la consecuencia indeseada se puede encontrar combinando la frecuencia de la causa desencadenante con las posibilidades de falla de cada CPIIPL, teniendo en cuenta cualquier modificador condicional. (Un ejemplo de un modificador condicional es si una persona estará presente y si podría ser influenciada). Las órdenes de magnitud se utilizan para las frecuencias y las posibilidades.

#### B.4.4.2 Uso

ACDP se puede utilizar cualitativamente para revisar las capas de protección entre un factor causal y una consecuencia, y también se puede utilizar cuantitativamente para asignar recursos a los tratamientos mediante el análisis de la reducción del riesgo producida por cada capa de protección. Se puede aplicar a sistemas con un horizonte temporal a corto o largo plazo y se suele utilizar para hacer frente a riesgos operacionales.

ACDP también se puede utilizar cuantitativamente para la especificación de CPI y los niveles de integridad de la seguridad (niveles NIS) para sistemas instrumentados, tal como se describe en la norma IEC 61508 (todas las partes) y en la norma IEC 61511 (todas las partes), y para demostrar que se ha alcanzado un NIS especificado.

**NOTA** Un NIS es un nivel discreto (uno de cuatro posibles) para especificar la confiabilidad requerida de un sistema relacionado con la seguridad. El nivel 4 tiene el nivel más alto de integridad de seguridad y el nivel 1 el más bajo.

#### B.4.4.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada a ACDP incluyen:

- información básica sobre las fuentes, las causas y las consecuencias de los eventos;
- información sobre los controles implementados o los tratamientos propuestos;
- la frecuencia del evento causal y las posibilidades de falla de las capas de protección, las medidas de consecuencia y una definición del riesgo tolerable.

#### B.4.4.4 Elementos de salida

Los elementos de salida son recomendaciones para cualquier tratamiento adicional y estimaciones del riesgo residual.

#### B.4.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de ACDP incluyen:

- Requiere menos tiempo y recursos que el análisis del árbol de eventos o que la evaluación del riesgo totalmente cuantitativa, pero es más rigurosa que los juicios cualitativos subjetivos.
- Ayuda a identificar y a concentrar los recursos en las capas más críticas de protección.
- Identifica las operaciones, sistemas y procesos para los que no existen salvaguardas suficientes.
- Se enfoca hacia las consecuencias más graves.

Las limitaciones de ACDP incluyen:

- Se enfoca hacia un par causa-consecuencia y en un escenario a la vez; no aborda las interacciones complejas entre riesgos o entre controles.
- Cuando se utiliza cuantitativamente, es posible que no tenga en cuenta las fallas de modo común.
- No se aplica a escenarios muy complejos en los que existen muchos pares causa-consecuencia o en los que existe una variedad de consecuencias que afectan a diferentes partes interesadas.

#### B.4.4.6 Documentos de referencia

- [36] IEC 61508 (*All Parts*), *Functional safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems*.
- [37] IEC 61511 (*All Parts*), *Functional Safety. Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector*.
- [38] *Layer of Protection Analysis. Simplified Process Risk Assessment*.

### B.5 TÉCNICAS PARA ENTENDER LAS CONSECUENCIAS Y LA POSIBILIDAD

#### B.5.1 Generalidades

Las técnicas descritas en el literal B.5 tienen por objeto proporcionar una mayor comprensión de las consecuencias y de su posibilidad. En general, las consecuencias se pueden explorar mediante:

- experimentación, por ejemplo, los estudios en células para explorar las consecuencias de la exposición a toxinas con resultados aplicados a los riesgos para la salud humana y para la ecología;
- la investigación de eventos pasados, incluidos los estudios epidemiológicos;
- el modelado para determinar la forma en que se desarrollan las consecuencias luego de la aplicación de algún factor desencadenante, y cómo esto depende de los controles implementados. Puede incluir modelos matemáticos o de ingeniería y métodos lógicos como el análisis de árbol de eventos (B.5.6);

- técnicas para estimular el pensamiento imaginativo, tales como el análisis de escenario (B.2.5);

La posibilidad de un evento o de una consecuencia particular se puede estimar mediante:

- extrapolación de datos históricos (siempre que haya suficientes datos históricos pertinentes para que el análisis sea estadísticamente válido). Esto se aplica especialmente a ocurrencias cero, cuando no se puede suponer que si un evento o consecuencia no ha ocurrido en el pasado, no ocurrirá en un futuro cercano;
- síntesis de datos relativos a las tasas de éxito o de fracaso de los componentes de los sistemas, utilizando técnicas como el análisis de árbol de eventos (B.5.6), el análisis de árbol de fallas (B.5.7) o el análisis de las causas y consecuencias (B.5.5);
- técnicas de simulación para generar, por ejemplo, la probabilidad de fallas estructurales y de equipos debido al envejecimiento y a otros procesos de degradación.

Se puede pedir opinión a los expertos sobre las posibilidades y consecuencias, teniendo en cuenta la información pertinente y los datos históricos. Hay una serie de métodos formales para obtener el juicio de los expertos, de manera que sea visible y explícito (véase el literal B.1).

La consecuencia y la posibilidad se pueden combinar para obtener un nivel de riesgo, lo que permite valorar la importancia de un riesgo comparando el nivel de riesgo con un criterio de aceptabilidad, o para poner los riesgos en orden de jerarquía.

Las técnicas para combinar los valores cualitativos de consecuencia y posibilidad incluyen métodos de índices (B.8.6) y matrices de consecuencia/posibilidad (B.10.3). También se puede producir una sola medida del riesgo a partir de una distribución de probabilidad de las consecuencias [véase, por ejemplo, VaR (B.7.2) y CVaR (B.7.3) y las curvas en S (B.10.4)].

## B.5.2 Análisis bayesiano

### B.5.2.1 Descripción general

Es común encontrar problemas cuando hay tanto datos como información subjetiva. El análisis bayesiano permite utilizar ambos tipos de información en la toma de decisiones. El análisis bayesiano se basa en un teorema atribuido al reverendo Thomas Bayes (1760). En su forma más simple, el teorema de Bayes proporciona una base probabilística para el cambio en la opinión de alguien a la luz de nueva evidencia. Se expresa generalmente como en la Fórmula (1):

$$\Pr(A|B) = \frac{\Pr(B|A)\Pr(A)}{\Pr(B)} \quad (1)$$

en donde

$\Pr(A)$  es la evaluación previa de la probabilidad de  $A$ ;

$\Pr(B)$  es la evaluación previa de la probabilidad de  $B$ ;

$\Pr(A|B)$  es la probabilidad de  $A$  dado que  $B$  ha ocurrido (la evaluación posterior);

$\Pr(B|A)$  es la probabilidad de  $B$  dado que  $A$  ha ocurrido.

El teorema de Bayes se puede extender para abarcar múltiples eventos en un espacio de muestra particular.

Por ejemplo, supongamos que tenemos algunos datos,  $D$ , que deseamos utilizar para actualizar nuestra comprensión previa (o la falta de ella) del riesgo. Queremos usar estos datos para evaluar los méritos relativos de un número ( $N$ ) de hipótesis que compiten entre sí y que no se solapan, que denominaremos como  $H_n$  (en donde  $n = 1, 2, \dots, N$ ). Entonces, el teorema de Bayes se puede usar para calcular la probabilidad de la hipótesis  $j$ ésima usando la Fórmula (2):

$$\Pr(H_j | D) = pr(H_j) \left[ \frac{\Pr(D | H_j)}{\sum \Pr(H_n) \Pr(D | H_n)} \right] \quad (2)$$

en donde  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Esto demuestra que una vez que se tienen en cuenta los nuevos datos, la probabilidad actualizada para la hipótesis  $j$  [es decir,  $\Pr(H_j|D)$ ], se obtiene multiplicando su probabilidad anterior  $\Pr(H_j)$  por la fracción entre corchetes.

El numerador de esta fracción es la probabilidad de obtener estos datos si la hipótesis  $j$ ésima es verdadera. El denominador proviene de la "ley de la probabilidad total", que es la probabilidad de obtener estos datos si cada hipótesis fuera cierta. El denominador es el factor de normalización.

Una probabilidad bayesiana se puede comprender más fácilmente si se considera como el grado de creencia de una persona en un evento determinado, en oposición a la probabilidad clásica que se basa en la evidencia física.

#### B.5.2.2 Uso

El análisis bayesiano es un medio para inferir datos, tanto empíricos como basados en juicios. Los métodos bayesianos se pueden desarrollar para proporcionar inferencia para parámetros dentro de un modelo de riesgo desarrollado para un contexto particular; por ejemplo, la probabilidad de un evento, la tasa de un evento, o el tiempo hasta un evento.

Los métodos bayesianos se pueden utilizar para obtener una estimación previa de un parámetro de interés basado en creencias subjetivas. Una distribución de probabilidad previa se asocia generalmente con datos subjetivos, ya que representa incertidumbres en el estado del conocimiento. Esta estimación previa se puede construir usando datos subjetivos solamente o usando datos pertinentes de situaciones similares, y puede proporcionar una predicción probabilística de la posibilidad de un evento y ser útil para una evaluación del riesgo en la que no existen datos empíricos.

Los datos de los eventos observados se pueden combinar con la distribución previa por medio de un análisis bayesiano para obtener una estimación posterior del parámetro de riesgo de interés.

El teorema de Bayes se utiliza para incorporar nueva evidencia en creencias anteriores para formar una estimación actualizada.

El análisis bayesiano puede proporcionar estimaciones puntuales y de intervalos para un parámetro de interés. Estas estimaciones capturan las incertidumbres asociadas tanto con la variabilidad como

con el estado del conocimiento. Es diferente de la inferencia clásica frecuentista, que representa la variación estadística aleatoria en la variable de interés.

El modelo de probabilidad que sustenta un análisis bayesiano depende de la aplicación. Por ejemplo, un modelo de probabilidad de Poisson se podría utilizar para eventos tales como accidentes, no conformidades o entregas tardías, o un modelo de probabilidad binomial se podría utilizar para elementos excepcionales. Cada vez es más común construir un modelo de probabilidad para representar las relaciones causales entre variables en forma de red bayesiana (B.5.3).

#### B.5.2.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada para un análisis bayesiano son los datos de juicio y empíricos necesarios para estructurar y cuantificar el modelo de probabilidad.

#### B.5.2.4 Elementos de salida

Al igual que las estadísticas clásicas, el análisis bayesiano proporciona estimaciones, tanto de números individuales como de intervalos, para el parámetro de interés y se puede aplicar a una amplia gama de elementos de salida.

#### B.5.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas son las siguientes:

- Las declaraciones inferenciales son fáciles de entender.
- Proporciona un mecanismo para usar creencias subjetivas sobre un problema.
- Proporciona un mecanismo para combinar creencias anteriores con nuevos datos.

Las limitaciones son las siguientes:

- Puede producir distribuciones posteriores que dependen en gran medida de la elección de la anterior.
- La solución de problemas complejos puede implicar elevados costos de cálculo y requerir una gran cantidad de mano de obra.

#### B.5.2.6 Documentos de referencia

- [39] GHOSH, J., DELAMPADY, M. y SAMANTA, T. An Introduction to Bayesian Analysis, New York Springer-Verlag, 2006.
- [40] QUIGLEY, J.L., BEDFORD, T.J. y W ALLS, L.A. Prior Distribution Elicitation.

### B.5.3 Redes bayesianas y diagramas de influencia

#### B.5.3.1 Descripción general

Una red bayesiana (red de Bayes o RB) es un modelo gráfico cuyos nodos representan las variables aleatorias (discretas y/o continuas) (Figura B.3). Los nodos están conectados por arcos dirigidos que representan dependencias directas (que a menudo son conexiones causales) entre variables.

Los nodos que apuntan a un nodo X se llaman sus padres, y se designan  $\text{pa}(X)$ . La relación entre variables se cuantifica mediante distribuciones condicionales de probabilidad (DCP) asociadas a cada nodo, designadas  $P(X|\text{pa}(X))$ , en donde el estado de los nodos hijos depende de la combinación de los valores de los nodos padres. En la Figura B.3 se indican las probabilidades mediante estimaciones puntuales.

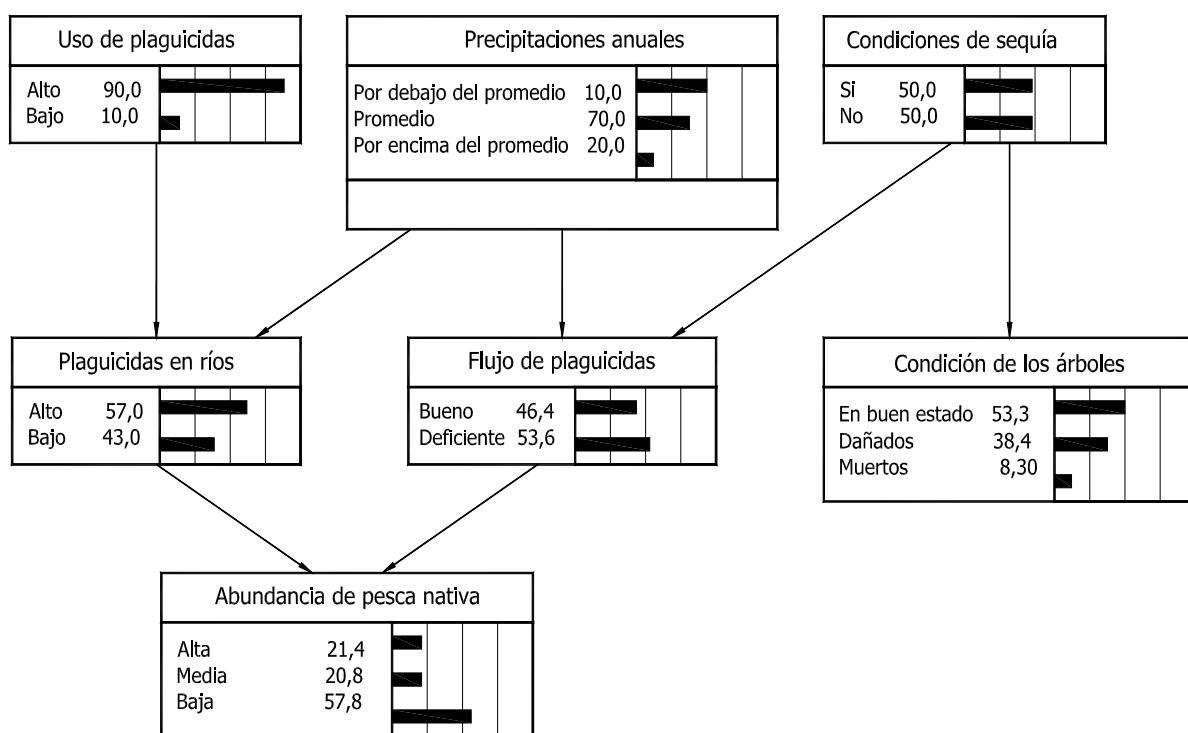


Figura B.3. Red bayesiana que ilustra una versión simplificada de un problema ecológico real: modelado de poblaciones de peces nativos en Victoria, Australia.

#### B.5.3.2 Uso

Una RB básica contiene variables que representan eventos inciertos y que se pueden usar para estimar la posibilidad o el riesgo o para inferir factores clave de riesgo que conducen a consecuencias especificadas.

Una RB se puede ampliar para incluir acciones de decisión y valoraciones, así como incertidumbres, en cuyo caso se conoce como diagrama de influencia, que se puede utilizar para evaluar el impacto de los controles/mitigación de riesgos o para valorar las opciones de intervención.

Las partes interesadas pueden construir un modelo de RB como una representación cualitativa de un problema y luego lo pueden cuantificar usando los datos pertinentes, incluidos de juicios (por ejemplo, análisis de riesgo de un centro de distribución de medicamentos), o se puede elaborar un modelo de RB a partir de datos empíricos solamente (por ejemplo, motores de búsqueda en la web, riesgo financiero). Independientemente de la forma de una RB, el mecanismo de inferencia subyacente se basa en el teorema de Bayes y posee las propiedades generales del análisis bayesiano (B.5.2).

La RB se ha utilizado en una amplia gama de aplicaciones: toma de decisiones ambientales, diagnósticos médicos, extensión de la vida útil de infraestructuras críticas, riesgo en la cadena de suministro, modelado de imagen para el desarrollo de nuevos productos y procesos, genética, reconocimiento de voz, economía, exploración espacial y motores de búsqueda en la web.

En general, las RB proporcionan modelos visuales que apoyan la articulación de los problemas y la comunicación entre las partes interesadas. Los modelos de RB permiten realizar análisis de sensibilidad para explorar escenarios de "¿qué pasaría si?" La construcción de la estructura de RB cualitativa se puede apoyar en el uso de la cartografía causal (B.6.1) y se puede utilizar RB junto con el análisis de escenario (B.2.5) y el análisis de impacto cruzado (B.6.2).

Las RB son útiles para obtener elementos de entrada y acuerdo de las partes interesadas en cuanto a decisiones en las que existe una gran incertidumbre y divergencia de puntos de vista de las partes interesadas. La representación es de fácilmente comprensión, aunque se requieren conocimientos y experiencia para su elaboración.

Las RB pueden ser útiles para representar los análisis de riesgo a las partes interesadas sin conocimiento técnico, promoviendo la transparencia de las hipótesis y procesos y tratando la incertidumbre de una manera matemáticamente sólida.

#### B.5.3.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada para RB requieren la comprensión de las variables del sistema (nodos), los enlaces causales entre ellos (arcos dirigidos) y las posibilidades previas y condicionales para estas relaciones.

En el caso de un diagrama de influencia, también se requieren las valoraciones (por ejemplo, pérdidas económicas, lesiones, etc.).

#### B.5.3.4 Elementos de salida

Las RB proporcionan distribuciones condicionales y marginales en una gráfica que generalmente se considera fácil de interpretar, al menos en comparación con otros modelos de caja negra. El modelo de RB y los datos se pueden modificar fácilmente para visualizar fácilmente las relaciones y explorar la sensibilidad de los parámetros a los diferentes elementos de entrada.

#### B.5.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de las RB incluyen:

- Hay software disponible fácilmente que cuyo uso y comprensión son relativamente sencillos.

- Su estructura es transparente y tiene capacidad de ejecutar rápidamente escenarios y analizar la sensibilidad de los elementos de salida a diferentes hipótesis.
- Pueden incluir creencias subjetivas sobre un problema, junto con los datos.

Las limitaciones incluyen:

- La definición de todas las interacciones para sistemas complejos es difícil, y puede llegar a ser intratable computacionalmente cuando las tablas de probabilidad condicional se vuelven demasiado grandes.
- Con frecuencia las RB son estáticas y no suelen incluir bucles de retroalimentación. Sin embargo, se está incrementando el uso de la tecnología dinámica.
- Para el establecimiento de parámetros se requiere el conocimiento de muchas posibilidades condicionales, que generalmente lo proporcionan los expertos. Las RB solo pueden dar respuestas basadas en estas hipótesis (una limitación común a otras técnicas de modelado).
- El usuario puede introducir errores, pero los elementos de salida aún podrían dar una respuesta creíble; la comprobación de los extremos puede ayudar a localizar los errores.

#### B.5.3.6 Documentos de referencia

- [41] NEIL, Martin and FENTON, Norman. *Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks* CRC Press, 2012
- [42] JENSEN, F.V., NIELSEN T. D. *Bayesian Networks and Decision Graphs*, 2nd ed. Springer, New York, 2007.
- [43] NICHOLSON, A., WOODBERRY O and TWARDY C, The "Native Fish" Bayesian networks. *Bayesian Intelligence Technical Report 2010/3*, 2010
- [44] NETICA TUTORIAL

#### B.5.4 Análisis del impacto en el negocio (AIN)

##### B.5.4.1 Descripción general

El análisis del impacto en el negocio analiza cómo los incidentes y los eventos pueden afectar las operaciones de una organización, e identifica y cuantifica las capacidades que se necesitarían para gestionarlo. Específicamente, un AIN brinda comprensión común acerca de:

- la criticidad de los procesos clave de negocio, funciones y recursos asociados y las interdependencias clave que existen para una organización;
- cómo los eventos perturbadores afectarán la capacidad y la aptitud para alcanzar los objetivos críticos del negocio;
- la capacidad y la aptitud necesarias para gestionar el impacto de una interrupción y recuperar los niveles de operación acordados.

El AIN se puede llevar a cabo usando cuestionarios, entrevistas, talleres estructurados o una combinación de los tres.

#### B.5.4.2 Uso

El AIN se utiliza para determinar la criticidad y los tiempos de recuperación de los procesos y los recursos asociados (por ejemplo, personas, equipos y tecnología de la información) para posibilitar una planificación adecuada de los eventos perturbadores. El AIN también ayuda a determinar las interdependencias e interrelaciones entre los procesos, las partes internas y externas y cualquier vínculo en la cadena de suministro.

También se puede utilizar como parte del análisis de consecuencias cuando se consideran las consecuencias de eventos perturbadores.

El AIN proporciona información que ayuda a la organización a determinar y seleccionar estrategias de continuidad del negocio adecuadas para posibilitar una respuesta y recuperación eficaces de un incidente perturbador.

#### B.5.4.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen:

- información sobre los objetivos, la dirección estratégica, el ambiente, los activos y las interdependencias de la organización;
- una visión general de los productos y servicios del negocio de la organización y su relación con los procesos del negocio;
- una evaluación de las prioridades de la revisión anterior por la dirección;
- detalles de las actividades y operaciones de la organización, incluyendo procesos, recursos, relaciones con otras organizaciones, cadenas de suministro, modalidades subcontratadas y partes interesadas;
- información para permitir la evaluación de las consecuencias financieras, legales y operacionales de la pérdida de procesos críticos;
- un cuestionario preparado u otro medio de recopilación de información;
- elementos de salida de otras evaluaciones de riesgo y análisis de incidentes críticos relacionados con los resultados de incidentes perturbadores;
- una lista de las personas de las áreas pertinentes de la organización y/o de las partes interesadas que serán contactadas.

#### B.5.4.4 Elementos de salida

Los elementos de salidas incluyen:

- una lista priorizada de los productos y servicios de la organización;

- documentos que detallen la información recopilada como elementos de entrada;
- una lista priorizada de procesos críticos e interdependencias asociadas;
- impactos documentados de una pérdida de los procesos críticos, incluyendo impactos financieros, legales, ambientales y operacionales;
- información sobre los recursos y actividades de apoyo necesarios para restablecer los procesos críticos;
- una evaluación de los impactos a lo largo del tiempo relacionados con la no entrega de dichos productos y servicios a corto, mediano y largo plazo;
- priorización de los tiempos para reanudar la entrega de estos productos y servicios a un nivel mínimo especificado, teniendo en cuenta el tiempo después del cual los impactos de no reanudarlos serían inaceptables;
- períodos de interrupción del proceso crítico y períodos de recuperación de la tecnología de la información asociados.

#### B.5.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del AIN incluyen que proporciona:

- una comprensión profunda de los procesos críticos que posibilitan que una organización alcance sus objetivos y que puedan indicar áreas para la mejora del negocio;
- la información necesaria para planificar la respuesta de una organización ante un evento perturbador;
- la comprensión de los recursos clave requeridos en caso de interrupción;
- una oportunidad para redefinir el proceso operacional de una organización para ayudar a mejorar la resiliencia de la organización.

Las limitaciones incluyen:

- El AIN se basa en el conocimiento y en las percepciones de los participantes involucrados en el diligenciamiento de los cuestionarios o en la realización de entrevistas o talleres. Esto puede dar lugar a expectativas simplistas o demasiado optimistas de los requisitos de recuperación.
- La dinámica de grupo puede afectar negativamente el análisis completo de un proceso crítico.
- Puede haber expectativas simplistas o demasiado optimistas de los requisitos de recuperación.
- Puede ser difícil obtener un nivel adecuado de comprensión de las operaciones y actividades de la organización.

#### B.5.4.6 Documentos de referencia

- [45] ISO TS 22317, *Societal Security. Business Continuity Management Systems. Guidelines for Business Impact Analysis.*
- [46] ISO 22301, *Societal Security. Business Continuity Management Systems. Requirements.*

#### B.5.5 Análisis de causa y consecuencia (ACC)

##### B.5.5.1 Descripción general

En algunas circunstancias, un evento que puede ser analizado por un árbol de fallas se aborda mejor utilizando un ACC. Por ejemplo:

- si es más fácil desarrollar secuencias de eventos que relaciones causales;
- si el análisis de árbol de fallas puede llegar a ser muy grande;
- si hay equipos separados que se ocupan de diferentes partes del análisis.

En la práctica, a menudo no se define en primer lugar el evento principal, sino los eventos potenciales en la interfaz entre el ámbito funcional y el técnico.

Por ejemplo, considere el evento "pérdida de tripulación o vehículo" durante una misión espacial. En lugar de construir un gran árbol de fallas basado en este evento principal, los eventos intermedios no deseados tales como fallas de ignición o fallas en la fuerza propulsora se pueden definir como eventos principales y analizar como árboles de falla separados. A su vez, estos eventos principales se utilizarían como elementos de entrada a los árboles de eventos para analizar las consecuencias operacionales.

Se pueden distinguir dos tipos de AAC, dependiendo de qué parte del análisis sea más pertinente para las circunstancias. Cuando se requieren causas detalladas, pero es aceptable una descripción más general de las consecuencias, se amplía la parte del análisis correspondiente al árbol de fallas y el análisis se denomina AAC-EPFG (árbol de eventos pequeño, árbol de fallas grande). Cuando se requiere una descripción detallada de las consecuencias pero la causa se puede considerar con menos detalle, el análisis se denomina AAC-EGFP (árbol de eventos grande, árbol de fallas pequeño). La Figura B.4 ilustra un diagrama conceptual de un análisis típico de causa y consecuencia.

##### B.5.5.2 Uso

Al igual que el análisis del árbol de fallas, el AAC se utiliza para representar la lógica de falla que conduce a un evento crítico, pero enriquece la funcionalidad de un árbol de fallas al permitir el análisis de las fallas secuenciales en el tiempo. El método también permite incorporar retrasos de tiempo al análisis de consecuencias, lo que no es posible con los árboles de eventos, y analiza las diferentes trayectorias que un sistema puede seguir luego de un evento crítico en función del comportamiento de subsistemas particulares (como los sistemas de respuesta ante emergencias).

Si se cuantifica, un análisis de causa-consecuencia dará una estimación de la probabilidad de diferentes consecuencias posibles después de un evento crítico.

Como cada secuencia en un diagrama de causa-consecuencia es una combinación de árboles de subfallas, el análisis de causa-consecuencia se puede usar para construir grandes árboles de fallas.

Dado que la elaboración y el uso de los diagramas son complejos, la técnica tiende a aplicarse cuando la magnitud de la consecuencia potencial de la falla justifica un esfuerzo intensivo.

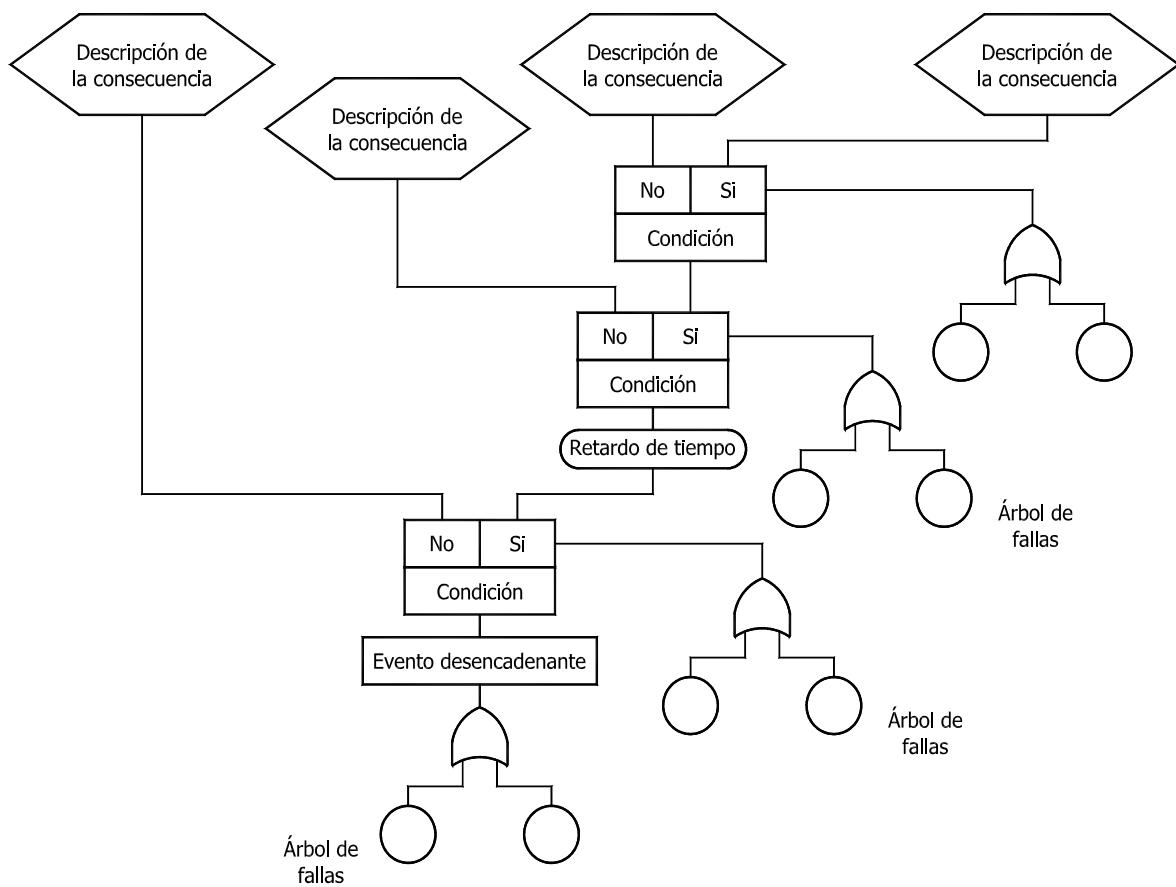


Figura B.4. Ejemplo de diagrama de causa y consecuencia

#### B.5.5.3 Elementos de entrada

Es necesario conocer el sistema y sus modos de falla y escenarios de falla.

#### B.5.5.4 Elementos de salida

Los elementos de salida del AAC son:

- un diagrama de cómo un sistema podría fallar, que ilustre tanto las causas como las consecuencias;
- una estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada consecuencia potencial, con base en el análisis de las probabilidades de ocurrencia de condiciones particulares posteriores al suceso crítico.

### B.5.5.5 Fortalezas y limitaciones

Además de las fortalezas de los árboles de fallas y eventos, un AAC tiene mejor capacidad para representar simultáneamente las causas y consecuencias de un evento preciso y las dependencias temporales que estas técnicas.

Las limitaciones incluyen que la elaboración de un AAC es más compleja que la del análisis del árbol de fallas y del árbol de eventos, al igual que la manera en que se tratan las dependencias durante la cuantificación.

### B.5.5.6 Documentos de referencia

- [47] ANDREWS J.D, RIDLEY L.M. 2002. Application of the Cause-Consequence Diagram Method to Static Systems
- [48] NIELSEN D.S. *The Cause/Consequence Diagram Method as a Basis for Quantitative Accident Analysis*

## B.5.6 Análisis del árbol de eventos (AAE)

### B.5.6.1 Descripción general

El AAE es una técnica gráfica que representa las secuencias mutuamente excluyentes de eventos que pueden surgir después de un evento desencadenante, según que los distintos sistemas diseñados para cambiar las consecuencias funcionen o no. El árbol se puede cuantificar para obtener las posibilidades de los diferentes resultados posibles (véase la Figura B.5).

El árbol comienza con el evento desencadenante y luego para cada control se dibujan líneas que representan su éxito o fracaso. Se puede asignar una probabilidad de fracaso o éxito a cada control con base en el juicio de expertos, a partir de datos o de análisis individuales de árboles de fallas. Las probabilidades son probabilidades condicionales. Por ejemplo, la posibilidad de que un elemento funcione no es la probabilidad obtenida de los ensayos en condiciones normales, sino la probabilidad de que funcione en las condiciones del evento desencadenante.

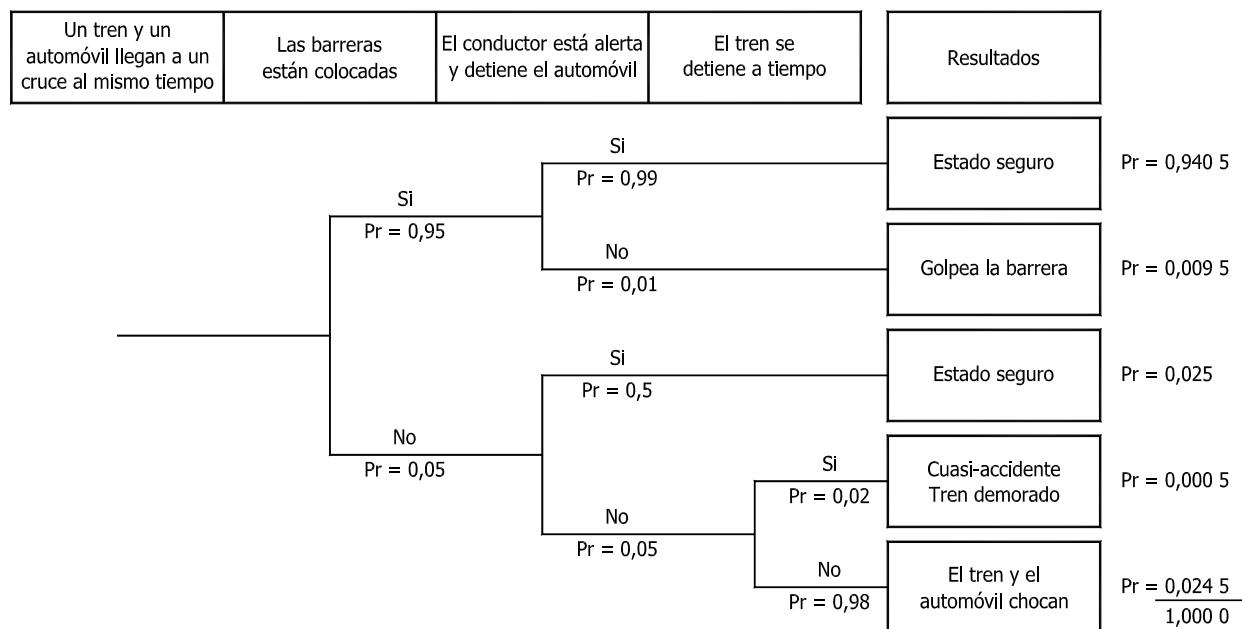
La frecuencia de los diferentes resultados está representada por el producto de las posibilidades condicionales individuales y la probabilidad o frecuencia del evento de iniciación, dado que los distintos eventos son independientes. En la Figura B.5 se supone que la probabilidad del evento desencadenante es de 1.

### B.5.6.2 Uso

El AAE se puede utilizar cualitativamente para ayudar a analizar escenarios potenciales y secuencias de eventos después de un evento desencadenante, y para explorar cómo los resultados se ven afectados por diversos controles. Se puede aplicar a cualquier nivel de una organización y a cualquier tipo de evento desencadenante.

Un AAE cuantitativo se puede utilizar para considerar la aceptabilidad de los controles y la importancia relativa de los diferentes controles en relación con el nivel general de riesgo. El análisis cuantitativo requiere que los controles funcionen o no (es decir, que no puedan contabilizarse los controles degradados) y que los controles sean independientes. Este es el caso, sobre todo, de las

cuestiones operacionales. Un AAE se puede utilizar para modelar eventos desencadenantes que podrían traer pérdidas o ganancias. Sin embargo, las circunstancias en las que se buscan vías para optimizar la ganancia se modelan con más frecuencia utilizando un árbol de decisiones (B.9.3).



**Figura B.5. Ejemplo de análisis de árbol de eventos**

#### B.5.6.3 Elementos de entrada

Los elementos de entradas incluyen:

- un evento desencadenante especificado;
- información sobre barreras y controles y, para el análisis cuantitativo, sus posibilidades de falla;
- una comprensión de los posibles escenarios.

#### B.5.6.4 Elementos de salida

Los elementos de salida del AAE incluyen:

- descripciones cualitativas de los resultados potenciales de los eventos desencadenantes;
- estimaciones cuantitativas de las tasas/frecuencias o posibilidades de eventos y la importancia relativa de varias secuencias de falla y eventos que contribuyen;
- evaluaciones cuantitativas de la eficacia de los controles.

### B.5.6.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del AAE incluyen:

- Se analizan los posibles escenarios posteriores a un evento desencadenante y se muestra la influencia del éxito o fracaso de los controles mediante un diagrama claro que se puede cuantificar, si es necesario.
- Identifica los eventos finales que de otro modo podrían no preverse.
- Identifica fallas potenciales en un solo punto, áreas de vulnerabilidad del sistema y contramedidas de baja rentabilidad, y por lo tanto se puede utilizar para mejorar la eficiencia de los controles.
- Tiene en cuenta la temporalidad y los efectos dominó que son difíciles de modelar en árboles de fallas.

Las limitaciones incluyen:

- Para un análisis exhaustivo, es necesario identificar todos los eventos desencadenantes potenciales. Siempre existe el potencial de que falten algunos eventos desencadenantes o secuencias de eventos importantes.
- Solo se tratan los estados de éxito y de falla de un sistema, y es difícil incorporar controles parcialmente operativos, éxito retardado o eventos de recuperación.
- Cualquier trayectoria está condicionada a los eventos que hayan ocurrido en los puntos del ramal anterior a lo largo de la trayectoria. Por lo tanto, se abordan muchas dependencias a lo largo de las trayectorias posibles. Sin embargo, podrían pasarse por alto algunas dependencias, tales como los componentes comunes, los sistemas de servicios públicos y los operadores, lo que daría lugar a estimaciones optimistas de la posibilidad de que se produjeran consecuencias particulares.
- Para sistemas complejos, puede ser difícil construir el árbol de eventos desde cero.

### B.5.6.6 Documentos de referencia

- [49] IEC 62502, *Analysis Techniques for Dependability. Event Tree Analysis*.
- [50] IEC TR 63039, *Probabilistic Risk Analysis of Technological Systems. Estimation of final Event Rate at a Given Initial State*.

### B.5.7 Análisis de árbol de fallas (AAF)

#### B.5.7.1 Descripción general

El AAF es una técnica para identificar y analizar los factores que contribuyen a un evento no deseado específico (llamado "evento principal"). El evento principal se analiza identificando primero sus causas inmediatas y necesarias. Estos pueden ser fallas de hardware o software, errores humanos o cualquier otro evento pertinente. La relación lógica entre estas causas se representa por una serie

de puertas, como las puertas Y (AND) y O (OR). A continuación, cada causa se analiza por etapas de la misma manera hasta que un análisis posterior resulte improductivo. El resultado se representa gráficamente en un diagrama de árbol (véase la Figura B.6), que es la representación gráfica de una ecuación booleana.

#### B.5.7.2 Uso

El AAF se utiliza principalmente a nivel operacional y para cuestiones de corto y mediano plazo. Se utiliza cualitativamente para identificar las causas potenciales y las trayectorias hacia el evento principal, o cuantitativamente para calcular la probabilidad del evento principal. Para el análisis cuantitativo se debe seguir una lógica estricta, lo que significa que los eventos en los elementos de entrada de una puerta Y (AND) tienen que ser necesarios y suficientes para causar el evento anterior y los eventos en una puerta O (OR) representan todas las causas posibles del evento anterior, cualquiera de las cuales podría ser la única causa. Las técnicas basadas en diagramas de decisión binarios o álgebra booleana se utilizan para contabilizar los modos de falla duplicados.

El AAF se puede utilizar durante el diseño para seleccionar entre diferentes opciones, o durante la operación para identificar cómo pueden ocurrir las fallas mayores y la importancia relativa de las diferentes trayectorias hacia el evento principal.

Las técnicas relacionadas estrechamente son el árbol de causas, que se utiliza en forma retrospectiva para analizar eventos que ya han ocurrido, y el árbol de éxito, en donde el evento principal es un éxito. Este último se utiliza para estudiar las causas del éxito con el fin de lograr éxitos en el futuro.

Las probabilidades tienden a ser más altas en un árbol de éxito que en un árbol de fallas y al calcular la probabilidad del evento principal se debería tener en cuenta la posibilidad de que los eventos no sean mutuamente excluyentes.

#### B.5.7.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada para el análisis del árbol de fallas son:

- La comprensión del sistema y las causas del éxito o del fracaso, así como la comprensión técnica de cómo se comporta el sistema en diferentes circunstancias. Para el análisis son muy útiles los diagramas detallados.
- Para el análisis cuantitativo de un árbol de fallas, se requieren datos sobre las tasas de fracasos, o la probabilidad de encontrarse en un estado de falla, o la frecuencia de los fracasos y dónde se requieren tasas de reparación/recuperación pertinentes, etc., para todos los eventos base.
- Para situaciones complejas, se recomiendan software y la comprensión de la teoría de la probabilidad y el álgebra booleana, de manera que los elementos de entrada se realicen correctamente en el software.

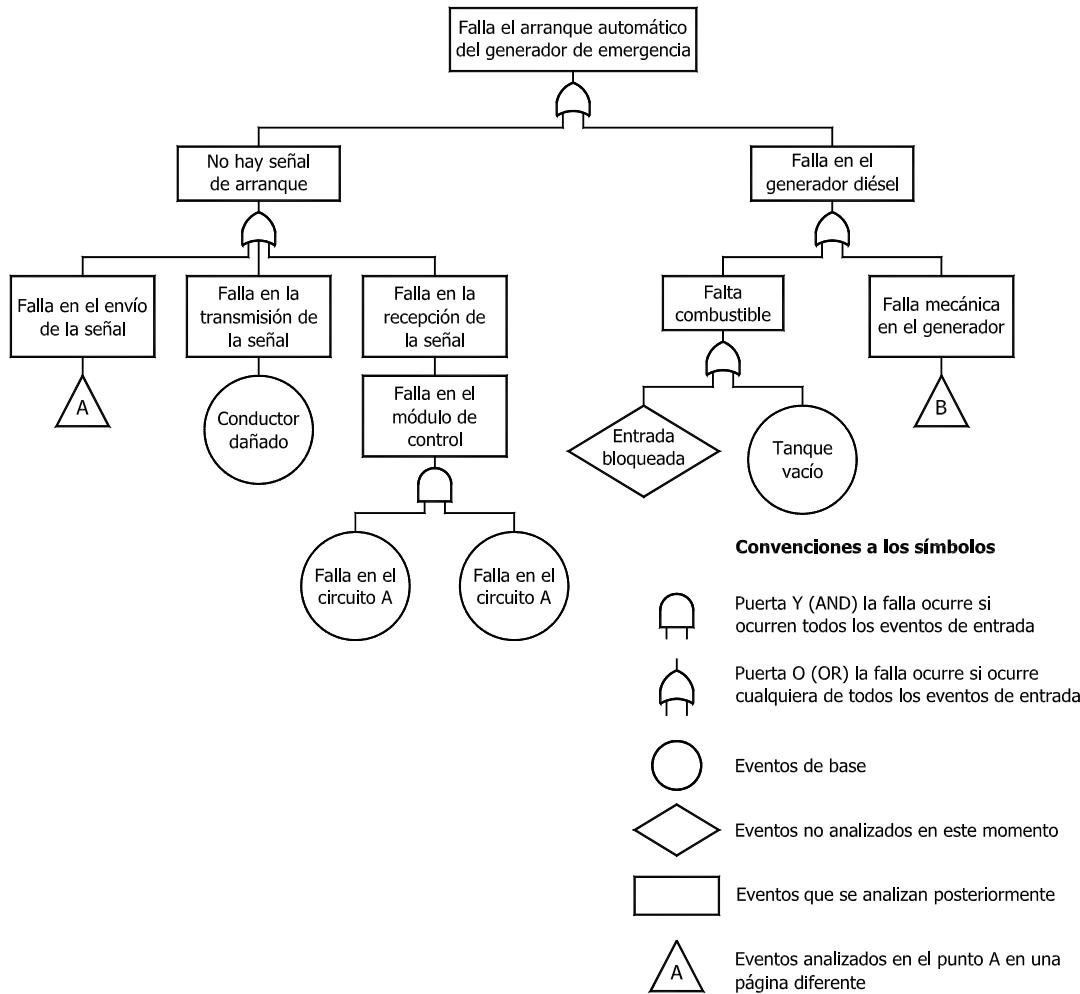


Figura B.6. Ejemplo de un árbol de fallas

#### B.5.7.4 Elementos de salida

Los elementos de salida del análisis del árbol de fallas son:

- una representación pictórica de cómo puede ocurrir el evento principal, que ilustra las trayectorias de interacción, cada una de las cuales implica la ocurrencia de dos o más eventos (base);
- una lista de los conjuntos de corte mínimo (trayectorias individuales hasta la falla) con la probabilidad de que cada uno de ellos ocurra, siempre que se disponga de datos;
- en el caso del análisis cuantitativo, la probabilidad del evento principal y la importancia relativa de los eventos de base.

#### B.5.7.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del AAF TLC incluyen:

- Se trata de un enfoque disciplinado que es considerablemente sistemático, pero al mismo tiempo suficientemente flexible para permitir el análisis de una variedad de factores, incluyendo las interacciones humanas y los fenómenos físicos.
- Es especialmente útil para analizar sistemas con muchas interfaces e interacciones.
- Proporciona una representación pictórica que facilita la comprensión del comportamiento del sistema y de los factores incluidos.
- El análisis lógico del árbol de fallas y la determinación de los conjuntos de corte son útiles para identificar trayectorias de falla simples en un sistema complejo en el que podrían pasarse por alto combinaciones particulares de eventos y secuencias de eventos que conducen al evento principal.
- Se puede adaptar a problemas simples o complejos con un nivel de esfuerzo que depende de la complejidad.

Las limitaciones incluyen:

- En algunas situaciones, puede ser difícil determinar si están incluidas todas las trayectorias importantes hacia el evento principal; por ejemplo, si están incluidas todas las fuentes de ignición en un análisis de un incendio. En estas situaciones, no es posible calcular la probabilidad del evento principal.
- No se abordan las interdependencias temporales.
- El AAF trata solo estados binarios (éxito/fracaso).
- Aunque los modos de error humano se pueden incluir en un árbol de fallas, la naturaleza y el alcance de tales fallas pueden ser difíciles de definir.
- El AAF analiza un evento principal. No analiza fallas secundarias o incidentales.
- Un AAF puede ser muy grande para sistemas de gran escala.

#### B.5.7.6 Documentos de referencia

- [51] IEC 61025, *Fault Tree Analysis (FTA)*
- [16] IEC 62740, *Root Cause Analysis (RCA)*

#### B.5.8 Análisis de la confiabilidad humana (ACH)

##### B.5.8.1 Descripción general

ACH se refiere a un grupo de técnicas que tienen como objetivo valorar la contribución de una persona a la confiabilidad y seguridad del sistema mediante la identificación y el análisis del potencial de una acción incorrecta. Aunque se aplican con mayor frecuencia al menoscabo en el desempeño de los operadores en un contexto de seguridad, se pueden aplicar métodos similares para mejorar los niveles de rendimiento. ACH se aplica a un nivel táctico a tareas particulares en las que el desempeño correcto es crítico.

Primero se lleva a cabo un análisis jerárquico de tareas para identificar los pasos y subpasos dentro de una actividad. Los mecanismos de error potenciales se identifican para cada subpaso utilizando con frecuencia un conjunto de indicaciones mediante palabras clave (tales como: demasiado pronto, demasiado tarde, objeto incorrecto, acción incorrecta, objeto correcto).

Se pueden identificar las fuentes de estos errores (tales como distracción, poco tiempo disponible, etc.) y utilizar la información para reducir la posibilidad de error dentro de la tarea. También se identifican los factores dentro de la propia persona, la organización o el ambiente que influyen en la probabilidad de error (factores de conformación del desempeño (FCD)).

La probabilidad de una acción incorrecta se puede estimar utilizando varios métodos, incluyendo una base de datos de tareas similares o el juicio de expertos. Habitualmente, se define una tasa de error nominal para un tipo de tarea y luego se aplica un multiplicador para representar los factores de comportamiento o ambientales que aumentan o disminuyen la posibilidad de fracaso. Se han desarrollado varios métodos para aplicar estos pasos básicos.

Los primeros métodos hacían mucho énfasis en la estimación de la posibilidad de fracaso. Los métodos cualitativos más recientes se enfocan en las causas cognitivas de las variaciones en el desempeño humano, con un mayor análisis de la forma en que el desempeño se modifica por factores externos y menos en el intento de calcular la probabilidad de fracaso.

### B.5.8.2 Uso

La ACH cualitativa se puede usar:

- durante el diseño, de modo que los sistemas se diseñen para minimizar la probabilidad de error por parte de los operadores;
- durante la modificación del sistema, para percibir si es probable que el desempeño humano se vea influenciado en cualquier dirección;
- mejorar para los procedimientos con el fin de reducir los errores;
- para ayudar a identificar y reducir los factores que inducen a error en el ambiente o en las disposiciones de la organización.

El ACH cuantitativo se utiliza para proporcionar datos sobre el desempeño humano como elemento de entrada a los métodos de árbol lógicos o a otras técnicas de evaluación del riesgo.

### B.5.8.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen:

- información para definir las tareas que las personas deberían realizar;
- experiencia acerca de los tipos de error o desempeño extraordinario que se producen en la práctica;
- conocimientos y experiencia sobre el desempeño humano y los factores que influyen en él;
- experiencia en la(s) técnica(s) por utilizar.

#### B.5.8.4 Elementos de salida

Los elementos de salida incluyen:

- una lista de los errores o desempeño extraordinario que pueden ocurrir y los métodos para mejorarlo mediante el rediseño del sistema;
- los modos, tipos, causas y consecuencias del desempeño humano;
- una evaluación cualitativa o cuantitativa del riesgo que representan las diferencias en el desempeño.

#### B.5.8.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del ACH incluyen:

- Proporciona un mecanismo formal para incluir el desempeño humano al considerar los riesgos asociados con los sistemas en los que los seres humanos desempeñan un rol importante.
- La consideración formal de los modos y mecanismos de desempeño humano basados en la comprensión de los mecanismos cognitivos puede ayudar a identificar formas de modificar el riesgo.

Las limitaciones incluyen:

- Los métodos se adaptan mejor a las tareas rutinarias llevadas a cabo en ambientes bien controlados.
- Son menos útiles para tareas complejas o cuando las acciones se deben basar en fuentes de información múltiples y posiblemente contradictorias.
- Muchas actividades no tienen un modo simple de aprobar/fallar. El ACH tiene dificultades para hacer frente a los impactos parciales en el desempeño, así como a la calidad de las acciones o decisiones.
- La cuantificación tiende a depender en gran medida de la opinión de los expertos ya que se dispone de pocos datos verificados.

#### B.5.8.6 Documentos de referencia

- [51] IEC 62508, *Guidance on Human Aspects of Dependability*.
- [52] BELL Julie, HOLROYD Justin, *Review of Human Reliability Assessment Method*.
- [53] OECD, *Establishing the Appropriate Attributes in Current Human Reliability Assessment Techniques for Nuclear Safety*.

## B.5.9 Análisis de Markov

### B.5.9.1 Descripción general

El análisis de Markov es una técnica cuantitativa que se puede aplicar a cualquier sistema que pueda describirse en términos de un conjunto de estados discretos y transiciones entre ellos, siempre que la evolución desde su estado actual no dependa de su estado en algún momento en el pasado.

Generalmente, se da por sentado que las transiciones entre estados ocurren a intervalos especificados con las correspondientes posibilidades de transición (cadena de Markov de tiempo discreto). En la práctica, esto se produce más comúnmente si el sistema se examina a intervalos regulares para determinar su estado. En algunas aplicaciones, las transiciones se rigen por tiempos aleatorios distribuidos exponencialmente con las tasas de transición correspondientes (cadena de Markov de tiempo continuo). Se utiliza comúnmente para los análisis de confiabilidad, véase la norma IEC 61165.

Los estados y sus transiciones se pueden representar en un diagrama de Markov como el de la Figura B.7. Los círculos representan los estados y las flechas representan las transiciones entre estados y sus posibilidades de transición asociadas. En este ejemplo solo se presentan cuatro estados: bueno (S1), justo (S2), deficiente (S3) y fallido (S4). Se supone que cada mañana, el sistema es inspeccionado y clasificado en uno de estos cuatro estados. Si el sistema ha fallado, siempre se repara ese día y se vuelve a poner en buen estado.

El sistema también se puede representar por una matriz de transición como se ilustra en la Tabla B.4. Observe que en esta tabla la suma para cada una de las filas es 1, ya que los valores representan las posibilidades de todas las transiciones posibles en cada caso.

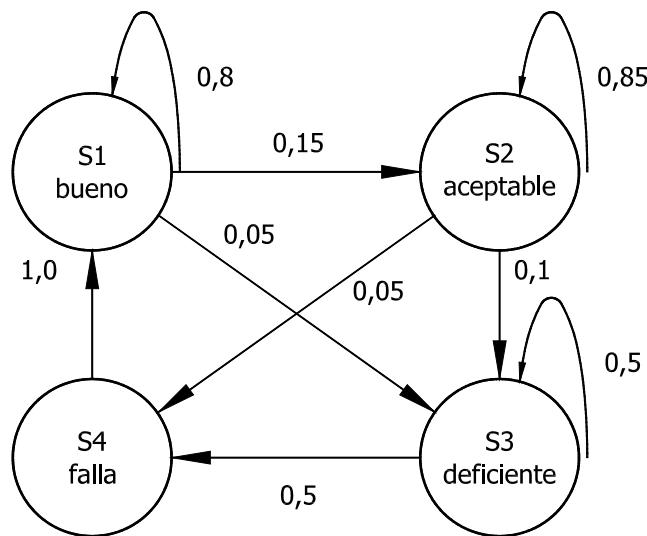


Figura B.7. Ejemplo de diagrama de Markov

Tabla B.4. Ejemplo de la matriz de Markov

		Estado siguiente después de la transición			
		S1, Bueno	S2, Aceptable	S3, Deficiente	S4, Falla
Estado actual	S1, Bueno	0,8	0,15	0,05	0
	S2, Aceptable	0	0,85	0,1	0,05
	S3, Deficiente	0	0	0,5	0,5
	S4, Falla	1	0	0	0

### B.5.9.2 Uso

El análisis de Markov se puede usar para estimar:

- la probabilidad a largo plazo de que el sistema se encuentre en un estado determinado; por ejemplo, podría ser la potencial de que una máquina de producción funcione según lo previsto, de que un componente falle o de que el nivel de suministro caiga por debajo de un umbral crítico;
- el tiempo esperado hasta la primera falla de un sistema complejo (tiempo del primer paso) o el tiempo esperado antes de que un sistema vuelva a un estado especificado (el tiempo de recurrencia).

En la Tabla B.5 se ofrecen ejemplos de sistemas, estados y transiciones en diferentes áreas.

Tabla B.5. Ejemplos de sistemas a los que se puede aplicar el análisis de Markov

Sistemas	Estados	Transiciones
Sistemas técnicos	Condición de las máquinas	Deterioro, daño, reparación
Producción	Nivel de producción	Operación, limpia, reposicionamiento
Mercadeo Contabilidad	Marca comprada	Lealtad de marca, cambio de marca
Salud	Estado de cuentas por pagar	Pago, condonación, extensión
Reservorio	Estado del paciente	Infección, recuperación, tratamiento, recaída
Recursos humanos	Cantidad de agua	Ingreso, salida, evaporación
	Categorías de empleos	Movimiento entre categorías de empleo

### B.5.9.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada para un análisis de Markov son un conjunto de estados discretos que el sistema puede ocupar, la comprensión de las posibles transiciones que es necesario modelar y las estimaciones de las posibilidades de transición o las tasas de transición (en el caso de una cadena de Markov de tiempo continuo, CMTC).

### B.5.9.4 Elementos de salida

El análisis de Markov genera estimaciones de la probabilidad de que un sistema se encuentre en cualquier estado especificado. Apoya muchos tipos de decisiones sobre los tipos de intervenciones

que un gerente podría realizar en un sistema complejo (por ejemplo, para modificar los estados del sistema y las transiciones entre ellos).

#### B.5.9.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de Markov incluyen:

- Se puede utilizar para modelar sistemas multiestados dinámicos.
- Los diagramas de transición de estado proporcionan estructuras simples y fácilmente comunicables.

Las limitaciones incluyen las siguientes:

- Las hipótesis podrían no aplicarse a todos los sistemas de interés, en particular, las posibilidades de transición o las tasas de transición entre estados pueden cambiar con el tiempo a medida que el sistema se deteriora o se adapta.
- Un modelado exacto puede requerir una recopilación y validación de datos amplia.
- Demasiados datos reducen la respuesta a una media.

#### B.5.9.6 Documentos de referencia

- [54] IEC 61165, *Application of Markov Techniques*  
[55] OXLEY, ALAN. *Markov Processes in Management Science*

### B.5.10 Simulación de Monte Carlo

#### B.5.10.1 Descripción general

Algunos cálculos realizados al analizar el riesgo involucran distribuciones. Sin embargo, no es fácil realizar cálculos con distribuciones, ya que a menudo no es posible obtener soluciones analíticas a menos que las distribuciones tengan formas bien especificadas, y luego solo con restricciones y hipótesis que podrían no ser realistas. En estas circunstancias, técnicas como la simulación de Monte Carlo proporcionan una forma de realizar cálculos y desarrollar resultados. La simulación normalmente implica tomar valores de muestra aleatoria de cada una de las distribuciones de entrada, realizar cálculos para obtener un resultado y luego repetir el proceso a través de una serie de iteraciones para construir una distribución de los resultados. El resultado se puede dar como una distribución de la probabilidad del valor o como una estadística, tal como el valor medio.

Los sistemas se pueden desarrollar utilizando hojas de cálculo y otras herramientas convencionales, pero se dispone de herramientas de software más sofisticadas para abordar los requisitos más complejos.

#### B.5.10.2 Uso

En general, la simulación de Monte Carlo se puede aplicar a cualquier sistema para el cual:

- un conjunto de elementos de entrada interactúan para definir un elemento de salida;
- la relación entre los elementos de entrada y de salida se puede expresar como un conjunto de dependencias;
- las técnicas analíticas no están en capacidad de proporcionar resultados pertinentes o cuando existe incertidumbre en los datos de entrada.

La simulación de Monte Carlo se puede utilizar como parte de la evaluación del riesgo para dos fines diferentes:

- propagación de la incertidumbre en modelos analíticos convencionales;
- cálculos probabilísticos cuando las técnicas analíticas no funcionen o no sean factibles.

Las aplicaciones incluyen, entre otras cosas, el modelado y la evaluación de la incertidumbre en las previsiones financieras, el desempeño de las inversiones, las previsiones de costos y plazos de los proyectos, las interrupciones de los procesos de negocio y las necesidades de personal.

#### B.5.10.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada a una simulación de Monte Carlo son:

- un modelo del sistema que contenga la relación entre los diferentes elementos de entrada y entre elementos de entrada y de salida;
- información sobre los tipos de elementos de entrada o las fuentes de incertidumbre que se van a representar;
- la forma del elemento de salida requerido.

Los datos de entrada con incertidumbre se representan como variables aleatorias con distribuciones más o menos dispersas, según el nivel de incertidumbre. Las distribuciones uniformes, triangulares, normales y logarítmicas normales se utilizan a menudo para este propósito.

#### B.5.10.4 Elementos de salida

El elemento de salida puede ser un valor único, o se puede expresar como la distribución de la probabilidad o de la frecuencia, o puede ser la identificación de las principales funciones dentro del modelo que tienen el mayor impacto en el resultado.

En general, el elemento de salida de una simulación de Monte Carlo será la distribución completa de los resultados que puedan surgir, o las medidas clave de una distribución, tal como:

- la probabilidad de que se produzca un resultado definido;
- no se excederá el valor de un resultado en el que los dueños del problema tengan un determinado nivel de confianza. Ejemplos de ello son los costos cuyo potencial de exceder es inferior al 10 % o cuya duración tiene una certeza del 80% de que se supere.

Un análisis de las relaciones entre los elementos de entrada y los de salida puede arrojar luz sobre la importancia relativa de la incertidumbre en los valores de los elementos de entrada e identificar las metas de los esfuerzos para influir en la incertidumbre del resultado.

#### B.5.10.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de Monte Carlo incluyen:

- En principio, el método puede aceptar cualquier distribución en una variable de entrada, incluidos los datos empíricos derivados de las observaciones de sistemas relacionados.
- Los modelos son relativamente sencillos de desarrollar y pueden ampliarse cuando sea necesario.
- Se pueden representar todas las influencias o relaciones, incluyendo efectos tales como las dependencias condicionales.
- El análisis de sensibilidad se puede aplicar para identificar influencias fuertes y débiles;
- Los modelos se pueden entender fácilmente ya que la relación entre elementos de entrada y de salida es transparente.
- Proporciona una medida de la exactitud de un resultado.
- El software está disponible fácilmente.

Las limitaciones incluyen:

- La exactitud de las soluciones depende del número de simulaciones que se puedan realizar.
- El uso de la técnica se basa en tener capacidad de representar incertidumbres en los parámetros mediante una distribución válida.
- Puede ser difícil establecer un modelo que represente adecuadamente la situación.
- Los modelos grandes y complejos pueden ser un reto para el modelador y dificultar la participación de las partes interesadas en el proceso.
- La técnica tiende a restar importancia a los riesgos de alta consecuencia y baja probabilidad.

El análisis de Monte Carlo evita que se le dé un peso excesivo a resultados improbables, de alta consecuencia, al reconocer que es improbable que todos estos resultados ocurran simultáneamente en un portafolio de riesgos. Esto puede tener el efecto de ignorar los eventos extremos, particularmente cuando se está considerando un portafolio grande. Esto puede dar una confianza injustificada a la persona que toma las decisiones.

#### B.5.10.6 Documentos de referencia

- [56] ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl 1: *Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995). Propagation Of Distributions Using a Monte Carlo Method.*

**B.5.11 Análisis del impacto en la privacidad (AIP) / Análisis del impacto en la protección de datos (AIPD)****B.5.11.1 Descripción general**

Los métodos de análisis del impacto en la privacidad (AIP) (también llamado evaluación del impacto en la privacidad) y de análisis del impacto en la protección de datos (AIPD) analizan cómo los incidentes y eventos pueden afectar a la privacidad (PI) de una persona e identifican y cuantifican las capacidades que se necesitarían para gestionarla. Un AIP/AIPD es un proceso de valoración de una propuesta para identificar los efectos potenciales sobre la privacidad y los datos personales de los individuos.

Los AIP y AIPD ayudan a las organizaciones a identificar, evaluar y tratar los riesgos para la privacidad asociados con las actividades de procesamiento de datos. Son especialmente importantes cuando se introduce un nuevo proceso, sistema o tecnología de procesamiento de datos. Los AIP y AIPD son parte integral de la adopción de un enfoque de privacidad mediante diseño.

Los AIPD también ayudan a las organizaciones a cumplir con los requisitos de los organismos de reglamentación sobre protección de datos (por ejemplo, el Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea, GDPR) y demuestran que se han tomado las medidas apropiadas para asegurar su cumplimiento.

Específicamente, el proceso:

- analiza las consecuencias potenciales de una violación a la privacidad de una persona viva (detección de riesgo básico);
- tiene en cuenta si el tratamiento de la información personal presenta un riesgo alto en caso de un incidente de privacidad;
- lleva a cabo un análisis de riesgos en profundidad para el tratamiento de datos personales identificables.

Un AIP/AIPD se puede llevar a cabo mediante cuestionarios, entrevistas, talleres estructurados o una combinación de los tres, con la orientación del Grupo de Trabajo del Artículo 29 de la UE y varias plantillas desarrolladas, por ejemplo, por ICO (Reino Unido), CNIL (Francia), y NOREA (Países Bajos).

**B.5.11.2 Uso**

Un AIP/AIPD se utiliza para determinar las consecuencias de los riesgos altos en los procesos y en los recursos asociados (por ejemplo, personas, equipos y tecnología de la información) para limitar las consecuencias negativas potenciales sobre la privacidad de las personas, que surgen de la forma en que se trata la información.

También se puede utilizar como parte del análisis de consecuencias cuando se consideran en forma más general las consecuencias del procesamiento de la información.

**B.5.11.3 Elementos de entrada**

Los elementos de entrada incluyen:

- información sobre los objetivos, la dirección estratégica, el ambiente, los activos y las interdependencias de la organización;
- una evaluación de las prioridades de detección de riesgos básicos anteriores;
- detalles de las actividades y operaciones de la organización al manejar información personal, incluyendo procesos, recursos, relaciones con otras organizaciones, cadenas de suministro, acuerdos subcontratados y partes interesadas;
- información para posibilitar la evaluación de las consecuencias financieras, legales y operacionales de una fuga o pérdida de información personal (especialmente información personal muy sensible);
- un cuestionario preparado u otros medios de recopilación de información;
- elementos de salida de otras evaluaciones de riesgos y análisis de incidentes críticos relacionados con los resultados de incidentes pertinentes (especialmente incidentes de fuga o pérdida de datos y otros incidentes de seguridad de la información que puedan tener un efecto en el procesamiento de datos previsto);
- una lista de las personas de las áreas pertinentes de la organización y/o de las partes interesadas que serán contactadas.

**B.5.11.4 Elementos de salida**

Los elementos de salida incluyen:

- documentos que presentan en detallen información recopilada como elementos de entrada;
- una lista priorizada de procesos de información críticos e interdependencias asociadas;
- un conjunto de escenarios en los que el riesgo de procesar los datos personales de la forma prevista es alto;
- impactos documentados de una fuga o pérdida de información personal en una persona natural viva;
- información sobre los recursos y actividades de apoyo necesarios para limitar las posibles consecuencias para los interesados;
- una lista priorizada de los productos y servicios de la organización que están involucrados;
- una evaluación de los impactos a lo largo del tiempo y de los medios que no garanticen la confidencialidad, la integridad y la disponibilidad de los datos personales (de alto riesgo) y de las consecuencias para los interesados;

- tiempos de interrupción para las medidas que deben tomarse para la contención y/o recuperación de la información, la declaración a las autoridades competentes y, en algunos casos, a las personas interesadas.

#### B.5.11.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de AIP/AIPD incluyen:

- una comprensión profunda de los procesos críticos que tratan con información personal (sensible) dentro de la organización;
- evaluación de la implementación de la protección de la intimidad mediante diseño y principios por defecto;
- información necesaria para planificar la respuesta de una organización a un incidente de datos personales;
- la comprensión de los recursos clave necesarios en caso de fuga o pérdida de datos personales;
- una oportunidad para redefinir y reconsiderar el procesamiento operacional de los datos personales por parte de una organización;
- en caso de una obligación legal (por ejemplo, el Reglamento General de Protección de Datos de la Unión Europea, GDPR), documentación para informar a las autoridades de protección de datos antes de que se inicie el procesamiento de datos personales de alto riesgo.

Las limitaciones incluyen:

- En la fase inicial, puede haber un cálculo simplista o subestimado de la gravedad potencial del riesgo para la privacidad de una persona (detección del impacto a la privacidad).
- El AIP/AIPD se basa en el conocimiento y en las percepciones de los participantes involucrados en el diligenciamiento de cuestionarios, o en la realización de entrevistas o talleres.
- La dinámica de grupo y la presión del tiempo pueden afectar negativamente el análisis completo de un proceso crítico.
- Cuando se procesan datos personales puede ser difícil obtener un nivel adecuado de comprensión de las operaciones y actividades de la organización.

#### B.5.11.6 Documentos de referencia

- [57] EU: *General Data Protection Regulation* (European Union Official Journal, 04.05.2016).
- [58] ICO (UK): *Data Protection Impact Assessments*.
- [59] CNIL (FR), *Privacy Impact Assessment (PIA)*.

## B.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DEPENDENCIAS E INTERACCIONES

### B.6.1 Mapeo de causas

#### B.6.1.1 Descripción general

Un mapeo de causas captura las percepciones individuales en forma de cadenas de argumentos en un gráfico dirigido que puede ser examinado y analizado. Los eventos, causas y consecuencias pueden ser representados en el mapa.

Habitualmente, los mapas se elaboran en un ambiente de taller donde los participantes de una gama de diferentes disciplinas se encargan de obtener, estructurar y analizar el material. Cuando es apropiado, las percepciones se incrementan con información de los documentos. Los elementos de entrada se pueden capturar usando varias herramientas que van desde notas adhesivas hasta software especializado de apoyo para la toma de decisiones en grupo. Estos últimos permiten la entrada directa de cuestiones y pueden ser un medio de trabajo muy productivo. Las herramientas seleccionadas deberían permitir la captura anónima de las cuestiones de manera que se pueda crear un ambiente abierto y no conflictivo para apoyar la discusión enfocada hacia las relaciones causales.

En general, el proceso comienza con la generación de contribuciones que tienen impacto o provocan eventos relacionados con la cuestión que se considera. Luego se agrupan en función de su contenido y se exploran para asegurar una cobertura completa.

Posteriormente, los participantes consideran cómo cada uno de los eventos podría tener impacto sobre los demás. Esto posibilita que los eventos discretos se vinculen entre sí para formar en el mapa trayectorias de razonamiento causal. El proceso tiene por objeto facilitar la comprensión compartida de eventos inciertos, así como desencadenar nuevas contribuciones por medio de un proceso explicativo impuesto que es necesario para construir las cadenas de argumentos que describen la forma en que un acontecimiento tiene impacto sobre otro. Existen reglas claras para la captura de nodos que representan eventos y de las relaciones para asegurar un modelado robusto y completo.

Una vez que la red de eventos se ha desarrollado para formar un mapa completo, se puede analizar para determinar las propiedades que pueden ser útiles para la gestión del riesgo: por ejemplo, para determinar los nodos esenciales, que son aquellos eventos cuya ocurrencia es esencial y puede tener efectos sistémicos sustanciales; o para determinar los bucles de realimentación, que pueden dar como resultado comportamientos dinámicos y destructivos.

#### B.6.1.2 Uso

El mapeo de causas identifica los vínculos e interacciones entre los riesgos y los temas dentro de una lista de riesgos.

Se puede usar con gran detalle para desarrollar un mapa de causas de un evento que ha ocurrido (por ejemplo, sobrecosto de proyectos, fallas del sistema). Los mapas de causas detallados pueden revelar desencadenantes, consecuencias y dinámicas. Permiten determinar la causalidad, que podría ser crítica para las reclamaciones.

Los mapas de causas también se pueden utilizar de manera proactiva para captar una apreciación exhaustiva y sistemática de los escenarios de eventos. Entonces se puede examinar el mapa para

permitir un aprendizaje profundo y para formar la base de un análisis cuantitativo de los riesgos que ayude a determinar las prioridades.

Permiten desarrollar un programa de tratamiento integrado en lugar de considerar cada riesgo por separado.

Los talleres de análisis causal se pueden llevar a cabo a intervalos regulares para asegurar que se tenga en cuenta la naturaleza dinámica del riesgo y que se gestione apropiadamente.

#### B.6.1.3 Elementos de entrada

Los datos para alimentar el desarrollo de los mapas de causas pueden provenir de una serie de fuentes diferentes, como por ejemplo de entrevistas individuales, en las que los mapas producidos ofrecen una representación en profundidad de lo que ocurrió o podría ocurrir. Los datos también se pueden extraer de documentación como informes, materiales de reclamaciones, etc. Estos datos se pueden utilizar directamente o se pueden utilizar para alimentar el proceso de análisis de las cadenas de argumentación relacionadas con los eventos por parte de los participantes en un taller.

#### B.6.1.4 Elementos de salida

Los elementos de salida incluyen:

- mapas de causas, que proporcionan una representación visual de los eventos de riesgo y de las relaciones sistémicas entre estos eventos;
- los resultados de un análisis de los mapas de causas utilizados para identificar grupos de eventos emergentes, eventos críticos debido a su carácter esencial, bucles de realimentación, etc.;
- un documento que traduzca los mapas en texto e informe de los resultados clave, y que explique la selección de los participantes y el proceso utilizado para desarrollar los mapas.

Los elementos de salida deberían proporcionar información pertinente para las decisiones de gestión de riesgos y una pista de auditoría del proceso utilizado para generar esta información.

#### B.6.1.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de los mapas de causas incluyen:

- Los riesgos relacionados con la cuestión que se considera desde las múltiples perspectivas de los participantes.
- La naturaleza divergente y abierta del proceso permite explorar el riesgo reduciendo el potencial de pasar por alto eventos o relaciones críticas.
- El proceso permite la captura eficaz y eficiente de las interacciones entre eventos y proporciona una comprensión de sus relaciones.
- El proceso de determinación de la red de eventos que forman el mapa puede construir el lenguaje común y la comprensión, que son vitales para la gestión eficaz del riesgo.

Las limitaciones incluyen:

- El proceso de mapeo no es fácil de aprender, ya que exige no solo habilidad en la técnica de mapeo, sino también la de manejar grupos mientras se trabaja con la herramienta de mapeo.
- Los mapas son de naturaleza cualitativa y cuando se requiere cuantificación, es necesario usar los mapas como entrada para otros modelos apropiados.
- El contenido del mapa está determinado por las fuentes, por lo que es crítico considerar cuidadosamente los participantes, ya que de lo contrario se pueden omitir áreas vitales.

#### B.6.1.6 Documentos de referencia

- [60] BRYSON, J. M., ACKERMANN, F., EDEN, C., & FINN, C. *Visible Thinking Unlocking Causal Mapping for Practical Business Results*.
- [61] ACKERMANN, F, HOWICK, S, QUIGLEY, J, WALLS, L, HOUGHTON, T. *Systemic Risk Elicitation: Using Causal Maps to Engage Stakeholders and Build a Comprehensive View of Risks*.

#### B.6.2 Análisis de impacto cruzado

##### B.6.2.1 Descripción general

El análisis de impacto cruzado es el nombre general dado a una familia de técnicas diseñadas para valorar los cambios en la probabilidad de ocurrencia de un conjunto determinado de eventos como consecuencia de la ocurrencia real de uno de ellos.

El análisis de impacto cruzado implica la construcción de una matriz para mostrar las interdependencias de los diferentes eventos. El conjunto de eventos o tendencias que podrían ocurrir se presenta a lo largo de las filas, y los eventos o tendencias que posiblemente se verían afectados por los eventos de las filas se presentan en las columnas. A continuación, se pide a los expertos que estimen:

- la probabilidad de que cada evento (aislado de los demás) se produzca en un horizonte de tiempo determinado;
- la probabilidad condicional de cada evento, dado que se produzca cada uno de ellos, es decir, para el par de eventos  $i/j$ , los expertos estiman:
  - $P(i/j)$  - la probabilidad de  $i$  si  $j$  ocurre,
  - $P(i/no j)$  - la probabilidad de  $i$  si  $j$  no ocurre.

Esta información se introduce en el computador para su análisis.

Existen varios métodos diferentes para calcular las posibilidades de un evento teniendo en cuenta todos los demás eventos. Independientemente de cómo se haga esto, el procedimiento habitual es llevar a cabo una simulación de Monte Carlo en la que el modelo informático selecciona sistemáticamente conjuntos coherentes de eventos y repite esto varias veces. A medida que se

realizan más y más corridas en el computador, se genera una nueva probabilidad posterior de ocurrencia de cada evento.

El análisis de sensibilidad se realiza seleccionando una estimación inicial de probabilidad o una estimación condicional de probabilidad sobre la cual existe incertidumbre. Este juicio se modifica y la matriz se ejecuta de nuevo.

#### B.6.2.2 Uso

El análisis de impacto cruzado se utiliza en los estudios de predicción y como técnica analítica para predecir cómo los diferentes factores influyen en las decisiones futuras. Se puede combinar con el análisis de escenario (B.2.5) para decidir cuáles de los escenarios producidos son los más probables. Se puede utilizar cuando hay múltiples riesgos que interactúan, por ejemplo, en proyectos complejos o en la gestión de riesgos de seguridad.

El horizonte de tiempo del análisis de impacto cruzado suele ser de mediano a largo plazo y puede ser desde el presente hasta cinco años o hasta 50 años en el futuro. El horizonte de tiempo se debería indicar explícitamente.

La matriz de eventos y sus interdependencias pueden ser útiles para los responsables de la toma de decisiones como marco general, incluso sin la probabilidad calculada a partir del análisis.

#### B.6.2.3 Elementos de entrada

El método requiere expertos que estén familiarizados con el tema que se estudia, que tengan la capacidad de prever desarrollos futuros y que sean capaces de estimar las posibilidades de manera realista.

Se necesita software de soporte para calcular las posibilidades condicionales. La técnica requiere conocimientos específicos de modelado si el usuario desea entender cómo se procesan los datos mediante el software. Por lo general, se requiere un tiempo significativo (varios meses) para desarrollar y ejecutar los modelos.

#### B.6.2.4 Elementos de salida

El elemento de salida es una lista de posibles escenarios futuros y su interpretación. Cada corrida del modelo produce una historia o escenario en un futuro sintético, que incluye la ocurrencia de algunos eventos y la no ocurrencia de otros. Sobre la base del modelo específico de impacto cruzado aplicado, los escenarios de salida intentan generar ya sea el escenario más probable, o un conjunto de escenarios estadísticamente consistentes, o uno o más escenarios plausibles a partir del conjunto total.

#### B.6.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de impacto cruzado incluyen:

- La implementación de un cuestionario de impacto cruzado es relativamente fácil.
- Dirige la atención a las cadenas de causalidad ( $a$  afecta a  $b$ ;  $b$  afecta a  $c$ , etc.).

- Puede clarificar e incrementar el conocimiento sobre desarrollos futuros.
- Es útil para explorar una hipótesis y para encontrar puntos de acuerdo y divergencia.

Las limitaciones incluyen las siguientes.

- El número de eventos que pueden incluirse está limitado en la práctica tanto por el software como por el tiempo requerido por los expertos. El número de corridas necesarias y el número de posibilidades condicionales por estimar se aumenta rápidamente a medida que se incrementa el número de eventos incluidos (por ejemplo, para un conjunto de diez eventos un experto debe proporcionar 90 juicios de probabilidad condicional).
- Un estudio realista exige un trabajo considerable por parte de los expertos y a menudo se experimenta una tasa alta de deserción.
- Es difícil definir los eventos que se deben incluir y cualquier influencia no incluida en el conjunto de eventos quedará excluida completamente del estudio; por el contrario, la inclusión de eventos irrelevantes puede complicar innecesariamente el análisis final de los resultados.
- Al igual que con otras técnicas basadas en la obtención del conocimiento de los expertos, el método depende del nivel de conocimientos y de experiencia de los encuestados.

#### B.6.2.6 Documento de referencia

- [62] JOINT RESEARCH CENTRE, EUROPEAN COMMISSION, *Cross Impact Analysis*, [consultado el 2017-9-14]

### B.7 TÉCNICAS QUE PROPORCIONAN UNA MEDIDA DEL RIESGO

#### B.7.1 Evaluación del riesgo toxicológico

##### B.7.1.1 Descripción general

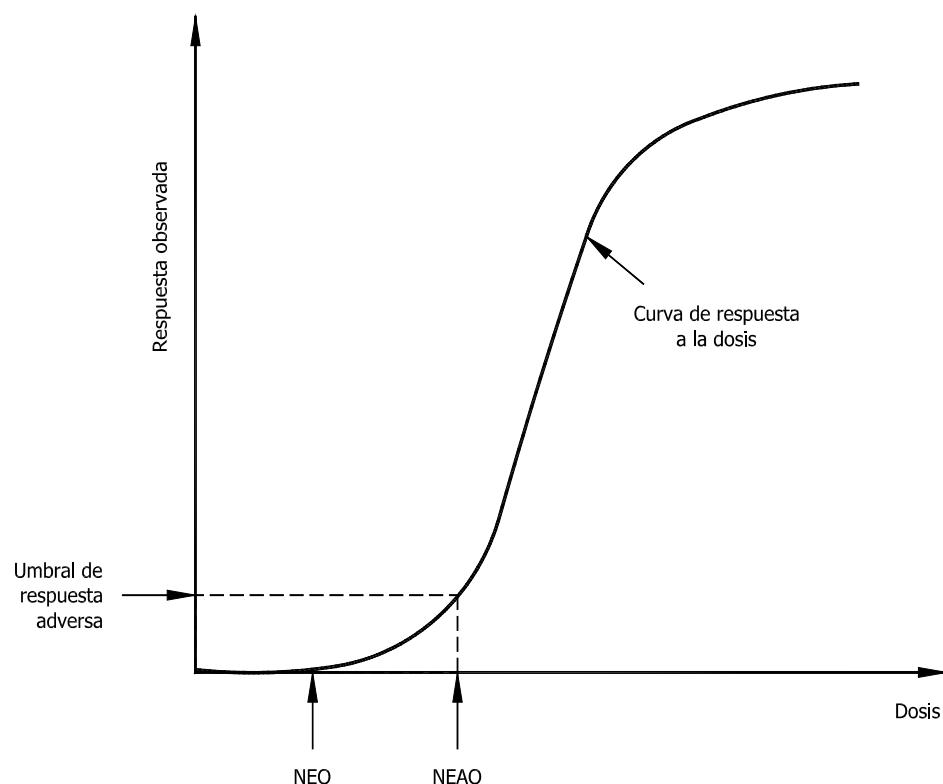
La evaluación del riesgo en el contexto de los riesgos para las plantas, los animales, el ámbito ecológico y los seres humanos como resultado de la exposición a una serie de peligros ambientales comprende las siguientes etapas.

Los riesgos para las plantas, los animales, los ámbitos ecológicos y los seres humanos se pueden deber a agentes físicos, químicos y/o biológicos que causan daños al ADN, defectos congénitos, contagio de enfermedades, contaminación de las cadenas alimentarias y contaminación del agua. La evaluación de tales riesgos puede requerir la aplicación de una serie de técnicas en las siguientes etapas.

- a) Formulación del problema: Implica establecer el contexto de la evaluación definiendo el propósito de la evaluación, la gama de poblaciones objetivo y los tipos de peligros de interés.
- b) Identificación y análisis de peligros: Implica identificar todas las posibles fuentes de daño a la población objetivo dentro del alcance del estudio y comprender la naturaleza del peligro y

cómo interactúa con la meta. Por ejemplo, al considerar la exposición humana a una sustancia química, las consecuencias consideradas pueden incluir el potencial de dañar el ADN, o causar cáncer o defectos congénitos. La identificación y el análisis de peligros normalmente se basan en el conocimiento de los expertos y en una revisión de la literatura pertinente.

- c) Evaluación de la respuesta a la dosis: La respuesta de la población objetivo suele estar por lo general en función del nivel de exposición o de la dosis. Las curvas de respuesta a la dosis se desarrollan usualmente a partir de ensayos en animales o de sistemas experimentales como los cultivos de tejidos. En el caso de peligros tales como microorganismos o especies introducidas, la curva de respuesta a la dosis se puede determinar a partir de datos de campo y estudios epidemiológicos. Siempre que sea posible, se determina el mecanismo por el cual se produce el efecto. La Figura B.8 ilustra una curva simplificada de respuesta a la dosis.



#### LEYENDA

- NOEL ningún límite de efecto observable  
 LOAEL nivel más bajo de efecto adverso observable

**Figura B.8. Ejemplo de curva de respuesta a la dosis**

- d) Evaluación de la exposición: Se estima la dosis que experimentará en la práctica la población objetivo. A menudo se trata de un análisis de la trayectoria en el que se tienen en cuenta las diferentes vías por las que puede pasar el peligro, las barreras que podrían impedir que alcance la meta y los factores que podrían influir en el nivel de exposición. Por ejemplo, al evaluar el riesgo de rociado de productos químicos, el análisis de la exposición consideraría la cantidad de producto químico rociado y en qué condiciones, si hubo exposición directa de

seres humanos o animales, qué cantidad podría quedar como residuo en las plantas, el destino ambiental de cualquier plaguicida que llegue al suelo, si puede acumularse en los animales, si entra en las aguas subterráneas, etc.

- e) Caracterización del riesgo: La información de los pasos anteriores se reúne para estimar la posibilidad de consecuencias particulares cuando se combinan los efectos de todas las trayectorias.

#### B.7.1.2 Uso

Este método proporciona una medida de la magnitud del riesgo para la salud humana o el medio ambiente. Se utiliza en las declaraciones de impacto ambiental para demostrar si el riesgo de una determinada exposición es aceptable. También se utiliza como base para definir los límites de riesgo aceptable.

#### B.7.1.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen información sobre los peligros toxicológicos, el sistema ecológico de interés (incluida la salud humana) y, cuando sea posible, los mecanismos involucrados. Por lo general, se requieren mediciones físicas para estimar las exposiciones.

#### B.7.1.4 Elementos de salida

El elemento de salida es una estimación del riesgo para la salud humana o ecológica, expresada ya sea cuantitativamente o con una mezcla de información cualitativa y cuantitativa. Puede incluir los límites que se utilizarán para definir los límites aceptables para el peligro en el ambiente, tales como el límite de efecto adverso no observable (véase la Figura B.8).

#### B.7.1.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de esta forma de análisis incluyen:

- Proporciona una comprensión muy detallada de la naturaleza del riesgo y de los factores que lo incrementan.
- El análisis de la trayectoria es una herramienta muy útil en general para todas las áreas de riesgo a fin de identificar cómo y dónde es posible mejorar los controles o introducir otros nuevos.
- El análisis puede constituir la base de reglas sencillas sobre las exposiciones aceptables que se pueden aplicar de manera general.

Las limitaciones incluyen:

- Requiere datos apropiados que podrían no estar disponibles de inmediato, por lo que podría ser necesario llevar a cabo una investigación significativa.
- Para su aplicación se requiere un alto nivel de conocimientos y experiencia.
- A menudo existe un alto nivel de incertidumbre asociado con las curvas de respuesta a la dosis y con los modelos utilizados para desarrollarlas.

- Cuando el objetivo es ecológico y no humano y el peligro no es químico, es posible que no haya una buena comprensión de los sistemas involucrados.

#### B.7.1.6 Documentos de referencia

- [63] WORLD HEALTH ORGANISATION, *Human Health Risk Assessment Toolkit. Chemical Hazards.*
- [64] US EPA, *Guidelines for Ecological Risk Assessment*

### B.7.2 Valor en riesgo (VaR)

#### B.7.2.1 Descripción general.

El valor en riesgo (VaR) se utiliza ampliamente en el sector financiero para proporcionar un indicador de la cantidad de pérdida posible en un portafolio de activos financieros durante un período de tiempo específico, con un nivel de confianza determinado. Las pérdidas mayores que el VaR se experimentan solo con una probabilidad pequeña especificada.

La distribución de las pérdidas y ganancias suele obtenerse de una de estas tres maneras.

- La simulación de Monte Carlo (véase B.5.10) se utiliza para modelar los factores que impulsan la variabilidad en la cartera y obtener la distribución. Este enfoque es particularmente útil, ya que proporciona información sobre los riesgos en las colas de distribución y permite poner a prueba las hipótesis de correlación.
- Los modelos de simulación históricos hacen proyecciones sobre la base de una mirada retrospectiva a los resultados y distribuciones observados. Se trata de un enfoque sencillo, pero puede resultar muy engañoso si el desarrollo futuro no corresponde a la experiencia pasada, lo que constituye una limitación importante en los períodos de tensión del mercado.
- Los métodos analíticos se basan en las hipótesis de que los factores subyacentes del mercado tienen una distribución normal multivariada. De este modo, se pueden determinar las pérdidas y ganancias, que también tienen una distribución normal.

Muchas organizaciones financieras utilizan una combinación de estos enfoques.

En algunos sectores se exige que el VaR se calcule sobre la base de mercados estresados y condiciones de alta volatilidad para proporcionar un conjunto creíble de resultados en el "peor de los casos".

Las medidas comunes del VaR están relacionadas con las pérdidas en un horizonte a lo largo de un día y de dos semanas, con posibilidades de pérdida del 1 % y del 5 %. Por convención, el VaR se reporta como un número positivo, aunque se refiere a una pérdida.

Por ejemplo, la Figura B.9 ilustra la distribución del valor de un portafolio de activos financieros a lo largo de un período, y la distribución se muestra de forma acumulativa. La Figura B.10 muestra la región en la que el portafolio sufre pérdidas, con valores de VaR de 1,6 millones al 1 % (una probabilidad de pérdida de 0,01) y de 0,28 millones al 5 % (una probabilidad de pérdida de 0,05).

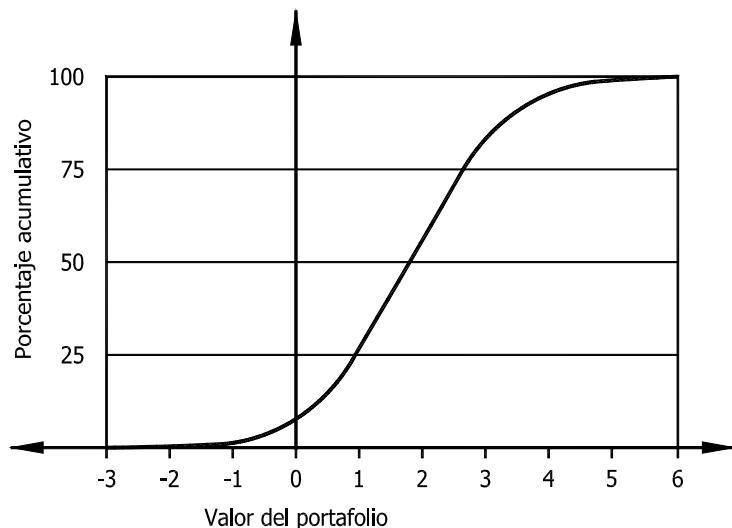


Figura B.9. Distribución del valor

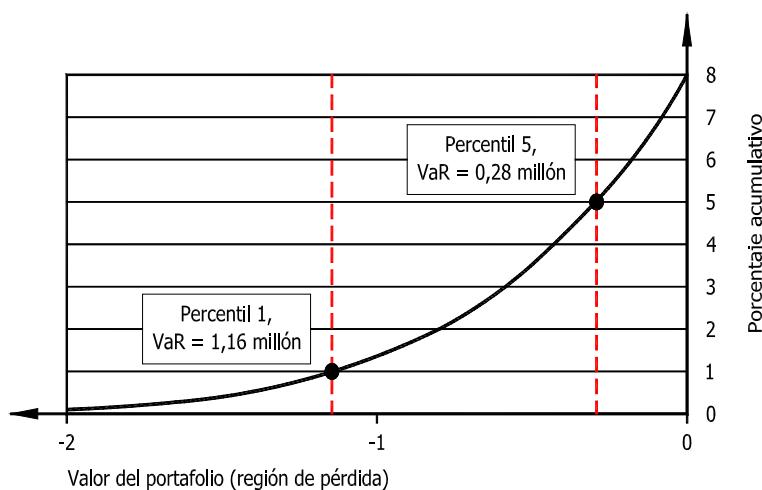


Figura B.10. Detalle de valores VaR de la región de pérdida

### B.7.2.2 Uso

El VaR tiene tres parámetros: una cantidad de pérdida potencial, la probabilidad de esa cantidad de pérdida y el período de tiempo durante el cual la pérdida podría ocurrir. Se utiliza para los siguientes propósitos:

- Establecer límites a un gerente de portafolio sobre la pérdida máxima en el portafolio dentro de una tolerancia al riesgo o apetito de riesgo acordados.
- Hacer seguimiento a lo "riesgoso" de un portafolio de activos en un momento dado y las tendencias en esto.
- Determinar cuánto capital económico, prudencial o regulatorio podría ser necesario reservar para un portafolio especificado;

- Informar a los organismos de reglamentación.

#### B.7.2.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada son los factores del mercado que afectan el valor del portafolio, tales como las tasas de cambio, las tasas de interés y los precios de las acciones. Por lo general, se identifican descomponiendo los instrumentos del portafolio en instrumentos más simples relacionados directamente con los factores de riesgo básicos del mercado, y luego interpretando los instrumentos reales como portafolios de los instrumentos más simples. Los financiadores y organismos de reglamentación pueden exigir que se adopten métodos específicos al evaluar las variables de entrada.

#### B.7.2.4 Elementos de salida

Durante un período de tiempo propuesto, el VaR calcula la pérdida potencial de un portafolio de activos financieros para una probabilidad especificada. El análisis también puede proporcionar la probabilidad para una cantidad especificada de pérdida.

#### B.7.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- El enfoque es directo y aceptado (o exigido) por los organismos de reglamentación financieros.
- Se puede utilizar para calcular los requerimientos de capital económico, sobre una base diaria, si es necesario.
- Proporciona un medio para establecer límites en un portafolio de negociación de acuerdo con el apetito de riesgo acordado, y hacer seguimiento del desempeño en relación con esos límites, apoyando así la gobernanza.

Las limitaciones incluyen:

- El VaR es un indicador, no una estimación específica de una posible pérdida. La pérdida máxima posible para una situación dada no es evidente a partir de una sola cifra correspondiente al VaR con una posibilidad del 1 % ó 5 % de pérdida obtenida del análisis del VaR.
- El VaR tiene una serie de propiedades matemáticas indeseables; por ejemplo, es una medida de riesgo coherente cuando se basa en una distribución elíptica como la distribución normal estándar, pero no en otras circunstancias. Los cálculos en la cola de la distribución a menudo son inestables y pueden depender de hipótesis específicas sobre las formas de distribución y las correlaciones que pueden ser difíciles de justificar y que podrían no mantenerse en tiempos de tensión en el mercado.
- Los modelos de simulación pueden ser complejos y requerir mucho tiempo de ejecución.
- Las organizaciones pueden necesitar sistemas de TI sofisticados para capturar la información de mercado de una forma que pueda utilizarse fácilmente y de forma oportuna para los cálculos del VaR.

- Es necesario suponer valores para un conjunto de parámetros que luego se fijan para el modelo. Si la situación cambia, de manera que estas hipótesis ya no son pertinentes, el método no proporcionará resultados razonables. En otras palabras, es un modelo de riesgo que no se puede utilizar en condiciones inestables.

#### B.7.2.6 Documentos de referencia

[65] POTENCIAL, D., BROOKS, R. (2010). *An Introduction to Derivatives and Risk Management*.

[66] THOMAS J. and PEARSON Neil D. Value at risk. *Financial Analysts Journal* 2000 **56**, 47-67.

### B.7.3 Valor en riesgo condicional (CVaR) o déficit esperado (ES)

#### B.7.3.1 Descripción general

El valor en riesgo condicional (CVaR), también llamado déficit esperado (DE), es una medida de la pérdida esperada de un portafolio financiero en el peor de los casos, un %. Esta es una medida similar al VaR, pero es más sensible a la forma de la cola inferior (pérdida) de la distribución del valor del portafolio. CVaR( $a$ ) es la pérdida esperada de aquellas pérdidas que solo ocurren en un determinado porcentaje del tiempo. Por ejemplo, en la Figura B.10, cuando  $a$  es 5, entonces CVaR(5) es el valor esperado de las pérdidas representado por la curva a la izquierda de la línea vertical al 5 %, es decir, el promedio de todas las pérdidas superiores a 0,28 millones.

#### B.7.3.2 Uso

Las técnicas de CVaR se han aplicado a la medición del riesgo de crédito, lo que proporciona a los prestamistas una visión de los cambios en el riesgo extremo en todas las industrias desde el inicio de la crisis financiera. La Figura B.11 ilustra mejor la diferencia entre CVaR y VaR en un portafolio en situación de riesgo.

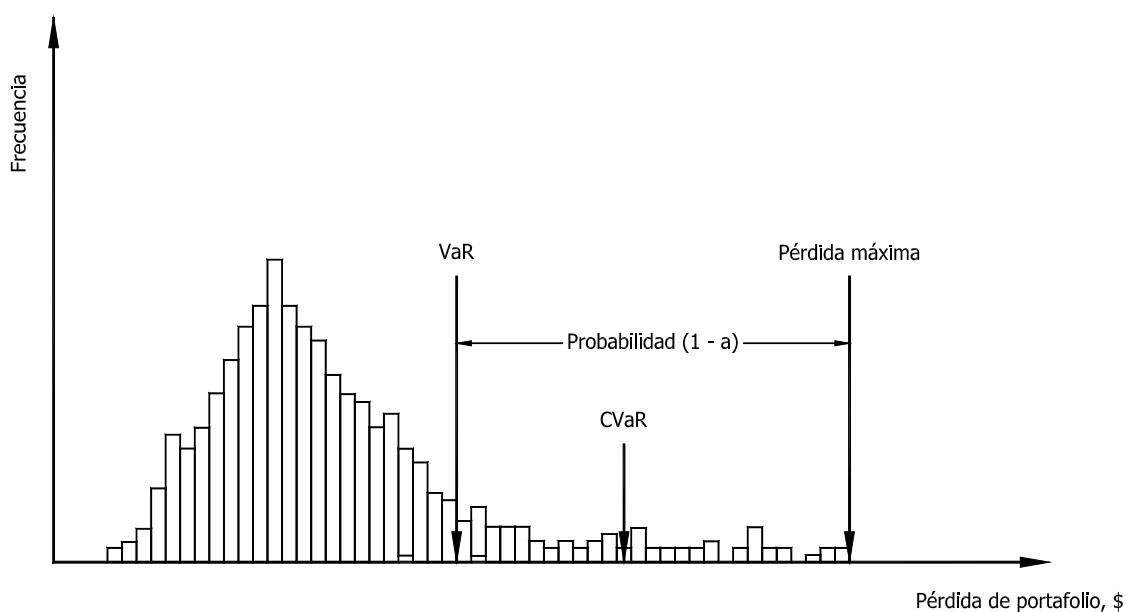


Figura B.11. VaR y CVaR para posible pérdida de portafolio

**B.7.3.3 Elementos de entrada y de salida**

Véase la descripción de valor en riesgo (VaR) en el literal B.7.2.

**B.7.3.4 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas incluyen:

- El CVaR es más sensible a la forma de la cola de distribución que el VaR.
- El CVaR evita algunas de las limitaciones matemáticas del VaR.
- El CVaR es una medida más conservadora que el VaR porque se enfoca hacia los resultados que generan las mayores pérdidas.

Las limitaciones incluyen:

- El CVaR es un indicador de potencial de pérdida, no una estimación de la pérdida máxima posible.
- Al igual que con el VaR, el CVaR es sensible a las hipótesis fundamentales sobre la volatilidad del valor de los activos;
- El CVaR se basa en matemáticas complejas y requiere una amplia gama de hipótesis.

**B.7.3.5 Documentos de referencia**

- [67] CHOUDHRY, M. *An introduction to Value at Risk*.
- [68] *Value at Risk*. New York University. [consultado en 2017-9-14]. Disponible en: <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/pdffiles/papers/VAR.pdf>

**B.8 TÉCNICAS PARA VALORAR LA IMPORTANCIA DEL RIESGO****B.8.1 Generalidades**

Las técnicas presentadas en el literal B.8 se utilizan dentro de un proceso que involucra decidir si tratar el riesgo y cómo hacerlo. Algunas se pueden utilizar para decidir si un riesgo en particular es tolerable o aceptable, otros para indicar la importancia relativa de un riesgo o para jerarquizar los riesgos por orden de prioridad.

**B.8.2 Tan bajo como sea razonablemente viable (ALARP) y en la medida en que sea razonablemente viable (SFAIRP)****B.8.2.1 Descripción general**

ALARP y SFAIRP son siglas que encarnan el principio de "razonablemente viable". Representan criterios en los que la prueba de aceptabilidad o tolerabilidad de un riesgo es si es razonablemente viable hacer más para reducir el riesgo. ALARP generalmente requiere que el nivel de riesgo se

reduzca hasta donde sea razonablemente viable. SFAIRP generalmente requiere que la seguridad se garantice en la medida en que sea razonablemente posible. En la legislación o en la jurisprudencia de algunos países se ha definido práctica razonable.

Los criterios SFAIRP y ALARP tienen la intención de lograr el mismo resultado, sin embargo, difieren en un punto semántico. ALARP logra la seguridad haciendo que el riesgo sea tan bajo como sea razonablemente viable, mientras que SFAIRP no hace referencia al nivel de riesgo. SFAIRP se interpreta generalmente como un criterio por el cual se evalúan los controles para determinar si son posibles tratamientos adicionales; luego, en caso de ser posibles, si son viables. Tanto ALARP como SFAIRP pueden hacer concesiones para dejar de lado los tratamientos del riesgo sobre la base de que los costos son extremadamente desproporcionados en relación con los beneficios obtenidos, aunque la medida en que esto esté disponible depende de la jurisdicción. Por ejemplo, en algunas jurisdicciones los estudios de costo-beneficio (véase B.9.2) se pueden usar para apoyar un argumento de que se ha logrado ALAR o SFAIRP.

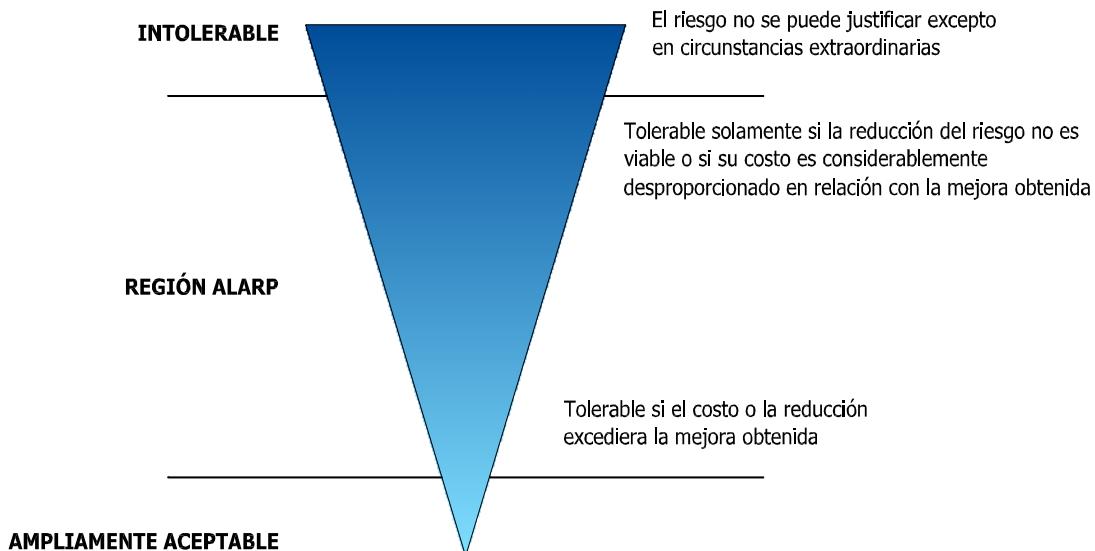
El concepto de ALARP, tal como lo expresaba originalmente el Health and Safety Executive del Reino Unido, se ilustra en la Figura B.12. En algunas jurisdicciones, los niveles cuantificados de riesgo se sitúan en los límites entre regiones intolerables, ALARP y regiones ampliamente aceptables.

#### B.8.2.2 Uso

ALARP y SFAIRP se utilizan como criterios para decidir si un riesgo necesita ser tratado. Se utilizan con mayor frecuencia para los riesgos relacionados con la seguridad y los utilizan los legisladores en algunas jurisdicciones.

El modelo ALARP se puede utilizar para clasificar los riesgos en una de las tres categorías siguientes:

- una categoría de riesgo intolerable, en la que el riesgo no se puede justificar salvo en circunstancias extraordinarias;
- una categoría de riesgo ampliamente aceptable, en la que el riesgo es tan bajo que no es necesario considerar una mayor reducción del riesgo (pero que se puede aplicar si fuera posible y razonable);
- una región entre estos límites (la región ALARP), en la que se debería implementar una reducción adicional del riesgo si es razonablemente viable.

**Figura B.12. Diagrama ALARP****B.8.2.3 Elementos de entrada**

Información sobre:

- la fuente del riesgo y el riesgo asociado;
- los criterios para los límites de la región ALARP;
- los controles establecidos y qué otros controles serían posibles;
- las consecuencias potenciales;
- la posibilidad de que estas consecuencias ocurran;
- el costo de los posibles tratamientos.

**B.8.2.4 Elementos de salida**

El elemento de salida es una decisión sobre si se requiere tratamiento y sobre el tratamiento que se va a aplicar.

**B.8.2.5 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas de usar el criterio ALARP/SFAIRP incluyen:

- establecen una norma común de atención basada en la jurisprudencia y la legislación, que apoya el principio de equidad en el sentido de que todas las personas tienen derecho a un nivel igual de protección contra los riesgos que la ley considera, y no una variable que su organización considere tolerable o aceptable;

- apoyan el principio de utilidad, ya que la reducción del riesgo no debería requerir más esfuerzo del que sea razonablemente viable;
- permiten el establecimiento de objetivos no prescriptivos;
- apoyan la mejora continua hacia la meta de minimizar el riesgo;
- proporcionan una metodología transparente y objetiva para debatir y determinar el riesgo aceptable o tolerable mediante consulta con las partes interesadas.

Las limitaciones incluyen:

- La interpretación de ALARP o SFAIRP puede ser difícil, pues que requiere que las organizaciones entiendan el contexto legislativo de lo razonablemente viable y que ejerzan su juicio con respecto a ese contexto.
- La aplicación de ALARP o SFAIRP a las nuevas tecnologías puede ser problemática porque es posible que los riesgos y los posibles tratamientos no se conozcan ni se entiendan bien.
- ALARP y SFAIRP establecen un estándar común de atención que puede no ser asequible financieramente para las organizaciones más pequeñas, lo que da como resultado que se asuman riesgos o se interrumpa una actividad.

#### B.8.2.6 Documentos de referencia

- [69] HSE, 2010a, HID'S Approach to'As Low As Reasonably Practicable' (ALARP) Decisions.
- [70] HSE, 2010b, Guidance on (ALARP) Decisions in Control of Major Accident Hazards (COMAH).
- [71] HSE, Principles and Guidelines to Assist HSE in its Judgments that Duty-Holders Have Reduced Risk as Low as Reasonably Practicable.

#### B.8.3 Diagramas frecuencia-número (F-N)

##### B.8.3.1 Descripción general

Un diagrama F-N es un caso especial de una matriz cuantitativa de consecuencias/posibilidades (B.10.3). En esta aplicación, el eje X representa el número acumulativo de víctimas mortales y el eje Y la frecuencia con la que ocurren. Ambas escalas son logarítmicas para ajustarse a los datos típicos. Los criterios de riesgo se ilustran generalmente como líneas rectas en el gráfico, en donde a mayor pendiente de la línea mayor será la aversión a un mayor número de víctimas mortales en comparación con un número menor.

##### B.8.3.2 Uso

Los diagramas F-N se utilizan como un registro histórico del resultado de los incidentes con pérdida de vidas humanas o para visualizar los resultados de un análisis cuantitativo del riesgo de pérdida de vidas humanas en comparación con criterios de aceptabilidad predefinidos.

La Figura B.13 presenta dos ejemplos de criterios etiquetados A y A-1 y B y B-1, que distinguen entre una región intolerable (por encima de A o B), una región ampliamente aceptable (por debajo de A-1 y B-1), y una región entre las líneas donde los riesgos son aceptables si son tan bajos como sea razonablemente viable (ALARP) (B.8.2). Los criterios B muestran una mayor pendiente (es decir, una menor tolerancia a múltiples víctimas mortales) y unos límites más conservadores en general. También se ilustran seis puntos en la curva C, que representan los resultados de un análisis cuantitativo del nivel de riesgo que se debe comparar con los criterios.

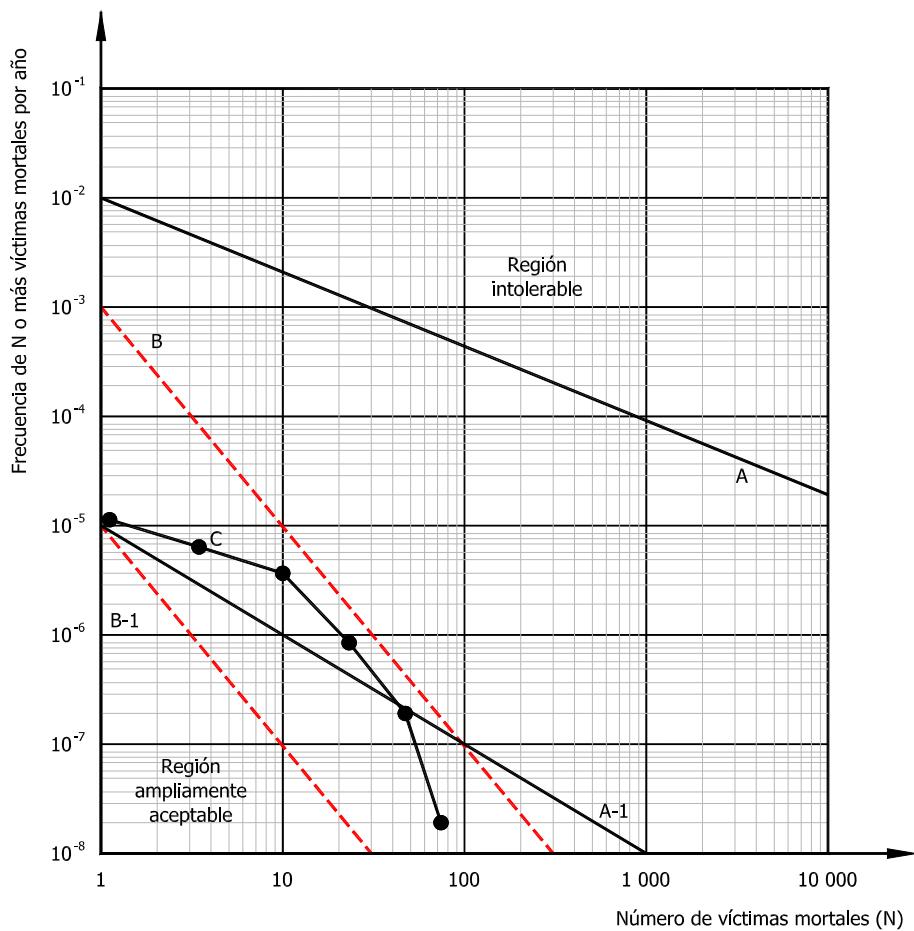


Figura B.13. Ejemplo de diagrama F-N

La aplicación más común es para representar el riesgo social de los sitios propuestos con peligros mayores que están sujetos a la planificación del uso de la tierra o a evaluaciones de seguridad similares.

NOTA Riesgo social se refiere a las preocupaciones de la sociedad debido a la ocurrencia de múltiples víctimas mortales en un solo evento.

### B.8.3.3 Elementos de entrada

Datos de incidentes o de análisis cuantitativos de riesgo que predicen la probabilidad de víctimas mortales.

#### B.8.3.4 Elementos de salida

Una representación gráfica de los datos comparados con criterios predefinidos.

#### B.8.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de los diagramas F-N incluyen:

- Proporcionan un resultado fácilmente comprensible en el que se pueden basar las decisiones.
- El análisis cuantitativo necesario para desarrollar un gráfico F-N proporciona una buena comprensión del riesgo y de sus causas y consecuencias.

Las limitaciones incluyen:

- Los cálculos para producir los gráficos a menudo son complejos y tienen muchas incertidumbres.
- Un análisis completo requiere que se analicen todos los escenarios potenciales de accidentes graves. Esto es muy dispendioso y requiere un alto nivel de conocimientos y experiencia.
- Los diagramas F-N no se pueden comparar fácilmente entre sí con el fin de jerarquizarlos.  
(por ejemplo, decidir qué tipo de desarrollo proporciona el mayor riesgo para la sociedad).

#### B.8.3.6 Documentos de referencia

- [72] Understanding and using F-N Diagrams, Annex in Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria
- [73] EVANS, A. *Transport fatal accidents and FN-curves*

### B.8.4 Gráficos de Pareto

#### B.8.4.1 Descripción general

Un gráfico de Pareto (véase la Figura B.14) es una herramienta para seleccionar un número limitado de tareas que producirán un efecto general significativo. Utiliza el principio de Pareto (también conocido como la regla 80/20), que plantea que el 80 % de los problemas se producen por el 20 % de las causas, o que haciendo el 20 % del trabajo se puede generar el 80 % del beneficio.

La elaboración de un gráfico de Pareto que seleccione las causas que se deben abordar involucra los siguientes pasos:

- Identificar y hacer una lista de los problemas;
- identificar la causa de cada problema;
- agrupar los problemas por causa;

- sumar los puntajes de cada grupo;
- dibujar un gráfico de columnas que visualice primero las causas con los puntajes más altos.

El principio de Pareto se aplica a un número de problemas y no tiene en cuenta la importancia de estos. En otras palabras, los problemas con consecuencias graves pueden no estar asociados con las causas más comunes de los problemas de consecuencias menores. Esto se puede lograr calificando los problemas de acuerdo con las consecuencias para obtener una ponderación. Un análisis de Pareto es un enfoque ascendente y puede producir resultados cuantitativos. Aunque no es una herramienta sofisticada, o no se requiere una capacitación o competencia particular para aplicar esta técnica, contar con un poco de experiencia es muy útil para evitar limitaciones y errores comunes.

**NOTA** Las cifras 80 % y 20 % son ilustrativas: el principio de Pareto ilustra la falta de simetría que a menudo aparece entre el trabajo realizado y los resultados obtenidos. Por ejemplo, el 13 % del trabajo podría generar el 87 % de los beneficios. O el 70 % de los problemas se podría resolver tratando el 30 % de las causas.

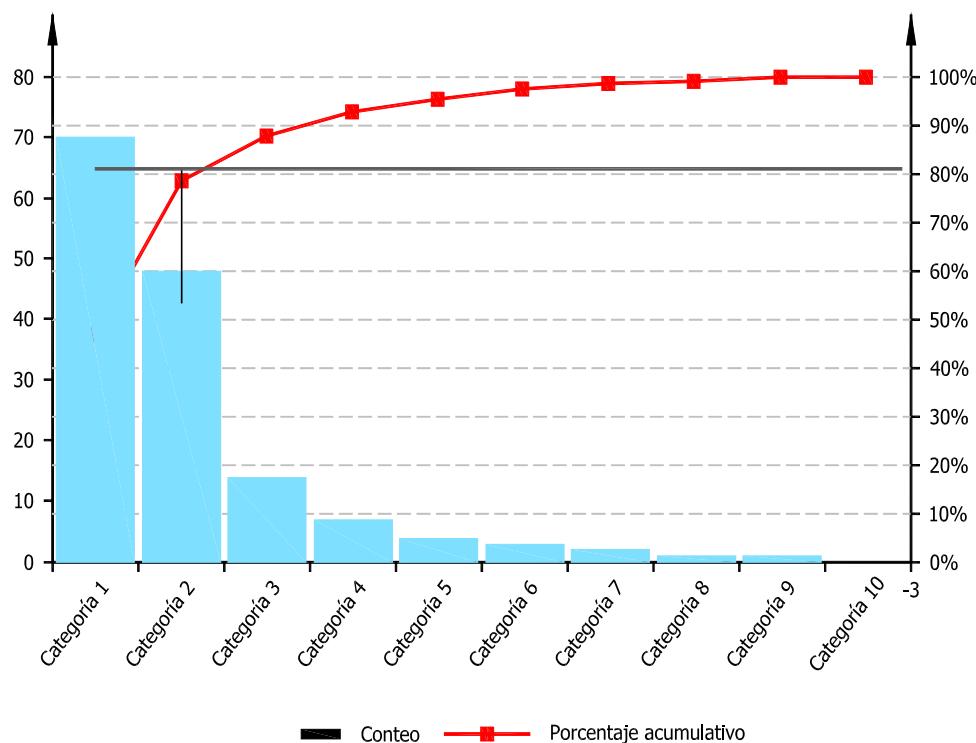


Figura B.14. Ejemplo de un gráfico de Pareto

#### B.8.4.2 Uso

El análisis de Pareto es útil a nivel operacional, cuando hay muchos cursos de acción posibles que requieren atención. Se puede aplicar siempre que se necesite alguna forma de priorización. Por ejemplo, se puede usar para ayudar a decidir qué causas son las más importantes o qué tratamientos de riesgo son los más beneficiosos.

Una representación típica de un análisis de Pareto se ilustra en el gráfico de barras, en donde el eje horizontal representa categorías de interés (por ejemplo, tipos de materiales, tamaños, códigos de rechazo, centros de proceso), en lugar de una escala continua (por ejemplo, de 0 a 100). Las categorías con frecuencia son "defectos", fuentes de defectos o elementos de entrada en un proceso. El eje vertical representa algún tipo de conteo o frecuencia (por ejemplo, ocurrencias, incidentes, partes, tiempo). A continuación, se dibuja un gráfico lineal del porcentaje acumulativo.

Las que se tratan son las categorías a la izquierda de donde el porcentaje acumulativo se cruza con la línea del 80 %.

#### B.8.4.3 Elementos de entrada

Datos por analizar, como los relativos a los éxitos y fracasos pasados y a sus causas.

#### B.8.4.4 Elementos de salida

El elemento de salida es un gráfico de Pareto que ayuda a demostrar qué categorías son las más significativas, de modo que el esfuerzo se pueda concentrar en las áreas en las que se pueden realizar las mejoras más importantes. Un gráfico de Pareto puede ayudar a determinar visualmente cuáles de las categorías comprenden los "pocos vitales" y cuáles representan los "muchos triviales". Aunque el análisis es cuantitativo, el resultado es una categorización de problemas, causas, etc. ordenados por importancia.

Si el primer análisis contiene muchos problemas pequeños o poco frecuentes, se pueden consolidar en una categoría "otros", que se presenta en el último lugar del gráfico de Pareto (aunque no sea la barra más pequeña). También se puede mostrar la línea de contribución porcentual acumulativa (la suma variable de la contribución de cada categoría como una fracción del total).

#### B.8.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de Pareto incluyen:

- El análisis de Pareto considera las causas comunes de los riesgos individuales como base para un plan de tratamiento.
- Presenta un elemento de salida gráfico que indica claramente en dónde se pueden obtener los mayores beneficios.
- Es probable que el tiempo y el esfuerzo necesarios para lograr resultados sean de moderados a bajos.

Las limitaciones incluyen:

- No se tiene en cuenta el costo o la dificultad relativa de tratar cada una de las causas subyacentes.
- Es necesario disponer de datos aplicables a la situación que se analiza.
- Para que el método sea válido, los datos se deben poder dividir en categorías y ajustarse a la regla 80/20.

- Es difícil construir ponderaciones relativas cuando los datos son inadecuados.
- Por lo general, solo se tienen en cuenta los datos históricos y no se tienen en cuenta los cambios potenciales.

#### B.8.4.6 Documentos de referencia

[74] *Pareto Chart, Excel Easy.*

[75] *Pareto Chart.*

### B.8.5 Mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC)

#### B.8.5.1 Descripción general

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) es una técnica de evaluación basada en el riesgo, que se utiliza para identificar las políticas y tareas de mantenimiento adecuadas para un sistema y sus componentes, con el fin de lograr de manera eficiente y eficaz la seguridad, disponibilidad y economía de operación requeridas para todo tipo de equipos. Abarca todos los pasos del proceso para realizar una evaluación del riesgo, incluyendo la identificación de riesgos, el análisis de riesgos y la valoración de riesgos.

Los pasos básicos de un programa de MCC son:

- iniciación y planificación;
- análisis de fallas funcionales;
- selección de tareas de mantenimiento;
- implementación;
- mejora continua.

El análisis funcional dentro del MCC se lleva a cabo más comúnmente mediante un análisis de modo y efectos de falla y criticidad (AMEFC, B.2.3), y se enfoca en situaciones en las que las fallas potenciales se pueden eliminar o reducirse en frecuencia y/o consecuencia mediante la realización de tareas de mantenimiento. Las consecuencias se establecen definiendo los efectos de las fallas y luego el riesgo se analiza estimando la frecuencia de cada modo de falla sin que se realice mantenimiento. Una matriz de riesgos (B.10.3) permite establecer categorías de niveles de riesgo.

A continuación, se selecciona la política de gestión de fallas adecuada para cada modo de falla. Por lo general, para seleccionar las tareas más apropiadas se aplica una lógica de selección de tareas estándar.

Se prepara un plan para implementar las medidas de mantenimiento recomendadas determinando las tareas detalladas, los intervalos de tareas, los procedimientos involucrados, las partes de repuesto requeridas y otros recursos necesarios para llevar a cabo las tareas de mantenimiento. En la Tabla B.6 se ilustra un ejemplo.

Todo el proceso de MCC está ampliamente documentado para referencias y revisiones futuras. La recopilación de datos relacionados con las fallas y el mantenimiento permite el seguimiento de los resultados y la implementación de las mejoras.

#### B.8.5.2 Uso

MCC se utiliza para permitir que se realice un mantenimiento aplicable y eficaz. Generalmente se aplica durante la fase de diseño y desarrollo de un sistema, y luego se implementa durante la operación y el mantenimiento. El mayor beneficio se obtiene enfocando el análisis en los casos en los que las fallas tendrían graves efectos en la seguridad, el ambiente, la economía o la operación.

MCC se inicia después de que mediante un análisis de criticidad de alto nivel se identifica el sistema y el equipo para los que se requiere determinar las tareas de mantenimiento. Esto puede ocurrir durante la fase de diseño inicial, o posteriormente durante su utilización, si no se ha hecho de una manera estructurada antes o si existe la necesidad de revisar o mejorar el mantenimiento.

#### B.8.5.3 Elemento de entrada

El éxito de la aplicación del MCC consiste en una buena comprensión del equipo y de la estructura, el ambiente operacional y los sistemas, subsistemas y elementos de equipo asociados, junto con las posibles fallas y las consecuencias de estas.

El proceso requiere un equipo que posea los conocimientos y la experiencia necesarios, y que esté controlado por un facilitador capacitado y experimentado.

#### B.8.5.4 Elemento de salida

El resultado final de trabajar mediante un proceso es un juicio sobre la necesidad de realizar una tarea de mantenimiento u otra acción como, por ejemplo, cambios operacionales.

El elemento de salida son las políticas de gestión de fallas apropiadas para cada modo de falla, como el seguimiento de la condición, la búsqueda de fallas, la restauración de la programación, el reemplazo basado en un intervalo (como horas calendario, horas de funcionamiento o número de ciclos) o la ejecución hasta la falla. Otras acciones posibles que pueden resultar del análisis incluyen el rediseño, cambios en los procedimientos de operación o mantenimiento o capacitación adicional. En la Tabla B.6 se presenta un ejemplo.

Se prepara un plan para implementar las medidas de mantenimiento recomendadas. Este plan presenta en detalle las tareas, los intervalos de las tareas, los procedimientos implicados, las partes de repuesto necesarias y otros recursos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento.

Tabla B.6 Ejemplo de selección de tareas de MCC

Falla funcional. No proporciona protección y apagado del compresor							
Equipo	Modo de falla	Intervalo de falla (horas)	Detección de fallas	Causas	Tipo de tarea	Descripción de las tareas	Intervalo de las tareas, en horas
Transmisión de presión – presión del aceite del compresor	Salida inexacta	80 000	Evidente	Fuera de calibración	Dirigida al tiempo	Verificar la calibración	16 000
Transductor de vibración – vibración del compresor	No se produce la salida apropiada	40 000	Evidente	Falla del detector/sensor	Dirigida a la condición	Verificar la exactitud si se presenta cambio en la vibración	Continuo sobre el panel de control
Interruptor de nivel– Nivel bajo de aceite del compresor	No se cambia el estado al solicitarse	80 000	Oculta	Falla del detector/sensor	Encontrar la falla	Ensayo funcional del interruptor de nivel	8 000
Sensor y cableado– temperatura del aceite del compresor	Salida alta	160 000	Evidente	Circuito abierto	Dirigida al tiempo	Verificar si hay conexiones sueltas	8 000
Transmisor de nivel – tanque de glicol	Salida inexacta	40 000	Oculta	Fuera de calibración	Dirigida al tiempo	Calibrar el transmisor precedido por la confirmación de llenado de glicol	8 000
Transmisor de presión succión del compresor / presión descarga	Salida inexacta	80 000	Evidente	Fuera de calibración	Dirigido al tiempo	Verificar la calibración	16 000
Sensor cableado succión del compresor / temperatura de descarga	Salida alta	160 000	Evidente	Circuito abierto	Dirigido al tiempo	Verificar las conexiones sueltas	8 000
Transductor de vibración vibración del enfriador	No se produce una salida apropiada	40 000	Evidente	Falla del sensor/detector	Dirigido a la condición	Verificar la exactitud si ocurre cambio en la vibración	Continuo sobre el panel de control

### B.8.5.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- El proceso permite utilizar la magnitud del riesgo para tomar decisiones sobre mantenimiento.
- Las tareas se basan en si son aplicables, es decir, si lograrán el resultado esperado.

- Las tareas son evaluadas para asegurar que serán rentables y que valga la pena su implementación.
- Las acciones de mantenimiento innecesarias se eliminan con la debida justificación.
- El proceso y las decisiones se documentan para su revisión posterior.

Las limitaciones incluyen:

- Por lo general, para ser eficaz el proceso requiere mucho tiempo.
- El proceso depende en gran medida de un facilitador capacitado y experimentado.
- El equipo debe poseer todos los conocimientos y la experiencia en mantenimiento necesarios para que las decisiones sean válidas.
- Puede haber una tendencia a tomar atajos en el proceso, que tienen impacto en la validez de las decisiones que se toman.
- Las tareas potenciales que se consideran se verán limitadas por el conocimiento de las técnicas disponibles, tales como las de seguimiento de la condición.

#### B.8.5.6 Documento de referencia

- [76] IEC 60300-3-11, *Dependability Management. Part 3-11: Application Guide. Reliability centred Maintenance.*

### B.8.6 Índices de riesgo

#### B.8.6.1 Descripción general

Los índices de riesgo proporcionan una medida del riesgo que se obtiene, utilizando un método de asignación de puntaje y escalas ordinales. Los factores que se considera que influyen en la magnitud del riesgo se identifican, se les asigna un puntaje y se combinan mediante una ecuación que busca representar la relación entre ellos. En las formulaciones más simples, los factores que aumentan el nivel de riesgo se multiplican entre sí y se dividen por los que disminuyen el nivel de riesgo. Siempre que es posible, las escalas y la forma en que se combinan se basan en evidencias y en datos.

Es importante que los puntajes para cada parte del sistema sean coherentes internamente y mantengan sus relaciones correctas.

No se pueden aplicar fórmulas matemáticas a las escalas ordinales. Por lo tanto, una vez que se haya desarrollado el sistema de asignación de puntaje, el modelo se debería validar aplicándolo a un sistema de fácil comprensión.

El desarrollo de un índice es un enfoque iterativo y se deberían intentar varios sistemas diferentes para combinar los puntajes a fin de validar el método.

### B.8.6.2 Uso

Los índices de riesgo son esencialmente un enfoque cualitativo o semicuantitativo para jerarquizar y comparar los riesgos. Se pueden utilizar para riesgos internos o externos de alcance limitado o extendido. A menudo son específicos para un tipo particular de riesgo y se utilizan para comparar diferentes situaciones en las que se produce ese riesgo. Si bien se utilizan números, su propósito es simplemente para permitir la manipulación. En los casos en que el modelo o sistema subyacente no se conoce bien o no se puede representar, generalmente es mejor utilizar un enfoque más abiertamente cualitativo que no implique un nivel de exactitud que sea imposible de lograr utilizando escalas ordinales.

EJEMPLO 1 Se utiliza un índice de riesgo de enfermedad para estimar el riesgo de una persona de contraer una enfermedad en particular, combinando los puntajes de varios factores de riesgo conocidos identificados en estudios epidemiológicos, teniendo en cuenta la fuerza de la asociación entre el factor de riesgo y la enfermedad.

EJEMPLO 2 Los puntajes de riesgo de incendio de unos arbustos comparan el riesgo de incendio en diferentes días teniendo en cuenta las condiciones previstas, tales como la humedad, la fuerza del viento, la sequedad del paisaje y la carga de combustible.

EJEMPLO 3 Los prestamistas calculan los riesgos de crédito para los clientes utilizando índices que representan componentes de su estabilidad financiera.

### B.8.6.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada se obtienen del análisis del sistema, para lo cual se requiere una comprensión adecuada de todas las fuentes de riesgo y de cómo pueden surgir las consecuencias.

Se pueden utilizar herramientas como AAF (B.5.7), AAE (B.5.6) y AMC (B.9.5), así como datos históricos para apoyar el desarrollo de los índices de riesgo.

Dado que la elección de la escala ordinal utilizada es arbitraria en cierta medida, se necesitan datos suficientes para validar el índice.

### B.8.6.4 Elemento de salida

El elemento de salida es una serie de números (índices compuestos) que se relacionan con un riesgo particular y que se pueden comparar con los índices desarrollados para otros riesgos dentro del mismo sistema.

### B.8.6.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de los índices de riesgo incluyen:

- Pueden proporcionar una herramienta sencilla y fácil de usar para jerarquizar los diferentes riesgos.
- Permiten incorporar múltiples factores que afectan el nivel de riesgo, en un único puntaje numérico.

Las limitaciones incluyen:

- Si el proceso (modelo) y su salida no están bien validados, los resultados pueden carecer de sentido.
- El hecho de que el elemento de salida sea un valor numérico para el riesgo, se puede malinterpretar y utilizar indebidamente, por ejemplo, en análisis posteriores de costo/beneficio.
- En muchas situaciones en las que se utilizan índices, no existe un modelo fundamental para definir si las escalas individuales de los factores de riesgo son lineales, logarítmicas o de alguna otra forma, ni un modelo para definir cómo se deben combinar los factores. En estas situaciones, la calificación es intrínsecamente poco fiable y la validación con respecto a datos reales es particularmente importante.
- Con frecuencia es difícil obtener evidencia suficiente para validar las escalas.
- El uso de valores numéricos puede implicar un nivel de exactitud que no se puede justificar.

#### B.8.6.6 Documentos de referencia

- [77] MACKENZIE Cameron A. *Summarizing Risk Using Risk Measures and Risk Indices*.

### B.9 TÉCNICAS PARA SELECCIONAR ENTRE OPCIONES

#### B.9.1 Generalidades

Las técnicas del literal B.9 se utilizan para ayudar a los responsables de la toma de decisiones a decidir entre opciones que involucran múltiples riesgos y dónde se deben encontrar soluciones intermedias. Las técnicas ayudan a proporcionar una base lógica para justificar las razones de una decisión. Puesto que los métodos tienen diferentes filosofías, puede ser valioso explorar las opciones utilizando más de un método.

El análisis del árbol de decisiones y el análisis de costo/beneficio basan las decisiones en la pérdida o ganancia financiera esperada. El análisis multicriterio permite ponderar diferentes criterios y buscar soluciones intermedias. El análisis de escenario (véase B.2.5) también se puede utilizar para explorar las posibles consecuencias si se siguen opciones diferentes. Este método es particularmente útil cuando existe una gran incertidumbre. Los problemas de decisiones también se pueden modelar utilizando diagramas de influencia (B.5.3).

#### B.9.2 Análisis de costo/beneficio (ACB)

##### B.9.2.1 Descripción general

El análisis de costo/beneficio pondera los costos totales esperados de las opciones en términos monetarios frente a sus beneficios totales esperados, con el fin de elegir la opción más eficaz o la más rentable. Puede ser cualitativo o cuantitativo o implicar una combinación de elementos cuantitativos y cualitativos, y se puede aplicar a cualquier nivel de una organización.

Se identifican las partes interesadas que podrían experimentar costos o recibir beneficios (tangibles o intangibles), así como los beneficios y costos directos e indirectos para cada una de ellas.

**NOTA** Los costos directos son los que se asocian directamente con la acción. Los costos indirectos son los costos de oportunidad adicionales, tales como la pérdida de utilidad, la mala administración del tiempo o la desviación de capital de otras inversiones potenciales.

En el ACB cuantitativo, se asigna un valor monetario a todos los costos y beneficios tangibles e intangibles. A menudo ocurre que se incurre en el costo en un período de tiempo corto (por ejemplo, un año) y los beneficios fluyen durante un largo prolongado. Es necesario entonces descontar los costos y beneficios para ponerlos en "dinero de hoy", de modo que se pueda hacer una comparación válida entre costos y beneficios. El valor presente de todos los costos (VPC) y el valor presente de los beneficios (VPB) para todas las partes interesadas se pueden combinar para producir un valor presente neto:  $VPN = VPB - VPC$ .

Un VPN positivo implica que la acción podría ser una opción adecuada. La opción con el VPN más alto no necesariamente es la del mejor valor. La relación más alta entre el VPN y el valor presente de los costos es un indicador útil de la opción con el mejor valor. La selección basada en el ACB se debería combinar con la elección estratégica entre opciones satisfactorias que pueden ofrecer individualmente el tratamiento de menor costo, el beneficio más alto y asequible o el mejor valor (el retorno de la inversión más rentable). Esta elección estratégica puede ser necesaria tanto a nivel de política como operacional.

La incertidumbre en los costos y beneficios se puede tener en cuenta calculando el promedio ponderado de probabilidad de los beneficios netos (el valor presente neto esperado o VPNE). En este cálculo, se presume que para el usuario es indiferente entre un pequeño pago con una alta probabilidad de ocurrencia, y un pago grande con una baja probabilidad de ocurrencia, en tanto ambos tengan el mismo valor esperado. Los cálculos de VPN también se pueden combinar con árboles de decisiones (B.9.3) para modelar la incertidumbre en decisiones futuras y sus resultados. En algunas situaciones, es posible retrasar algunos de los costos hasta que se disponga de mejor información sobre los costos y los beneficios. La posibilidad de hacer esto tiene un valor que se puede estimar usando análisis de opciones reales.

En el ACB cualitativo no se intenta encontrar un valor monetario para los costos y beneficios intangibles y, en lugar de proporcionar una sola cifra que resuma los costos y beneficios, se consideran cualitativamente las relaciones y las soluciones intermedias entre los diferentes costos y beneficios.

Una técnica relacionada es el análisis de costo-eficacia. Esto supone que se desea un determinado beneficio o resultado, y que existen varias formas alternativas para lograrlo. El análisis se centra únicamente en los costos y busca identificar la forma más barata de obtener el beneficio.

Aunque los valores intangibles suelen tratarse asignándoles un valor monetario, también es posible aplicar un factor de ponderación a otros costos, por ejemplo, para ponderar los beneficios de la seguridad más que los beneficios financieros.

Una variante del ACB, el análisis de riesgo de costo/beneficio (ARCB), enfatiza más en el riesgo. Así como CBA utiliza distribuciones puntuales o binarias, con ARCB el valor del riesgo también puede considerar distribuciones de probabilidad completa para consecuencias negativas y positivas [78].

### B.9.2.2 Uso

El ACB se utiliza a nivel operacional y estratégico para ayudar a decidir entre opciones. En la mayoría de las situaciones, estas opciones implicarán incertidumbre. En los cálculos se deberían tener en cuenta tanto la variabilidad del valor presente esperado de los costos y beneficios como la posibilidad de que se produzcan acontecimientos inesperados. Para ello puede utilizarse un análisis de sensibilidad o un análisis de Monte Carlo (B.5.10).

El ACB también se puede utilizar para tomar decisiones sobre los riesgos y sus tratamientos, por ejemplo:

- como elemento de entrada para decidir si se debería tratar un riesgo;
- para decidir cuál es la mejor forma de tratamiento del riesgo;
- para comparar las opciones de tratamiento a largo plazo y a corto plazo.

### B.9.2.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen información sobre los costos y beneficios para las partes interesadas pertinentes y sobre las incertidumbres de esos costos y beneficios. Se deberían considerar los costos y beneficios tangibles e intangibles. Los costos incluyen todos los recursos que podrían gastarse, incluidos los costos directos e indirectos, los gastos generales atribuibles y los efectos negativos. Los beneficios incluyen impactos positivos y la evitación de costos (que pueden resultar de tratamientos de riesgo). Los costos irrecuperables ya gastados no forman parte del análisis. Un simple análisis con hoja de cálculo o una discusión cualitativa no requieren un esfuerzo sustancial, pero la aplicación a problemas más complejos implica un tiempo significativo para la recolección de los datos necesarios y la estimación de un valor monetario adecuado para los intangibles.

### B.9.2.4 Elemento de salida

El elemento de salida de un análisis de costo/beneficio es información sobre los costos y beneficios relativos de diferentes opciones o acciones. Esto se puede expresar cuantitativamente como un valor presente neto (VPN), una mejor relación (VPN/VPC) o como la relación entre el valor presente de los beneficios y el valor presente de los costos.

Un elemento de salida cualitativo suele ser una tabla en la que se comparan los costos y beneficios de diferentes tipos de estos, y en la que se presta atención a las soluciones intermedias.

### B.9.2.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de ACB incluyen:

- El ACB permite comparar los costos y los beneficios utilizando una sola métrica (por lo general, dinero).
- Proporciona transparencia a la información utilizada para fundamentar las decisiones.

- Fomenta la recopilación de información detallada sobre todos los aspectos posibles de la decisión (esto puede ser valioso para poner de manifiesto la ignorancia, así como para transmitir conocimiento).

Las limitaciones incluyen:

- El ACB requiere una buena comprensión de los beneficios probables, por lo que no se adapta a una situación novedosa de gran incertidumbre.
- El ACB cuantitativo puede producir cifras drásticamente diferentes, dependiendo de las hipótesis y métodos utilizados para asignar valores económicos a beneficios no económicos e intangibles.
- En algunas aplicaciones, es difícil definir una tasa de descuento válida para costos y beneficios futuros.
- Los beneficios que corresponden a una población numerosa son difíciles de estimar, en particular los relativos al bien público que no se intercambia en los mercados. Sin embargo, cuando se combina con la "voluntad de pagar o de aceptar", es posible dar cuenta de tales beneficios externos o sociales.
- Dependiendo de la tasa de descuento elegida, la práctica de descontar a valores presentes significa que los beneficios obtenidos en el futuro a largo plazo pueden tener una influencia insignificante en la decisión, lo que desalienta la inversión a largo plazo.
- El ACB no aborda adecuadamente la incertidumbre en cuanto al momento en que se producirán los costos y beneficios, ni la flexibilidad en la toma de decisiones futuras.

#### B.9.2.6 Documentos de referencia

- [79] *The Green book, Appraisal and Evaluation in Central Government*
- [80] ANDOSEH, S., et al. *The case for a Real Options Approach to ex-Ante Cost-Benefit Analyses of Agricultural Research Projects.*

### B.9.3 Análisis de árbol de decisiones

#### B.9.3.1 Descripción general

Un árbol de decisión modela las trayectorias posibles que se derivan de una decisión inicial que se debe tomar (por ejemplo, si se debe proceder con el Proyecto A o con el Proyecto B). A medida que avancen los dos proyectos hipotéticos podría ocurrir una serie de eventos y será necesario tomar diferentes decisiones predecibles. Estas se representan en formato de árbol, similar a un árbol de eventos. La probabilidad de los eventos se puede estimar junto con el valor esperado o la utilidad del resultado final de cada trayectoria.

La información relativa a la mejor trayectoria de decisión es lógicamente aquella que produce el mejor valor esperado calculado como el producto de todas las posibilidades condicionales a lo largo de la trayectoria y el valor del resultado.

### B.9.3.2 Uso

Un árbol de decisión se puede utilizar para estructurar y resolver problemas de decisión secuenciales, y es especialmente beneficioso cuando la complejidad del problema crece. Posibilita que una organización cuantifique los posibles resultados de las decisiones y, por lo tanto, ayuda a los responsables de la toma de decisiones a seleccionar el mejor curso de acción cuando los resultados son inciertos. La visualización gráfica también puede ayudar a comunicar las razones que justifican las decisiones.

Se utiliza para evaluar una decisión propuesta, a menudo utilizando estimaciones subjetivas de las posibilidades de eventos, y ayuda a los responsables de la toma de decisiones a superar los sesgos de percepción inherentes al éxito o al fracaso. Se puede utilizar en cuestiones a corto, mediano y largo plazo a nivel operacional o estratégico.

### B.9.3.3 Elementos de entrada

El desarrollo de un árbol de decisión requiere un plan de proyecto con puntos de decisión, información sobre los posibles resultados de las decisiones y sobre los eventos fortuitos que podrían afectar a las decisiones. Se necesitan conocimientos y experiencia para configurar el árbol correctamente, especialmente en situaciones complejas.

Dependiendo de la construcción del árbol, se necesitan datos cuantitativos o información suficiente para justificar la opinión de expertos sobre las posibilidades.

### B.9.3.4 Elementos de salida

Las salidas incluyen:

- una representación gráfica del problema objeto de la decisión;
- un cálculo del valor esperado para cada trayectoria posible;
- una lista priorizada de posibles resultados, basada en el valor esperado o en la trayectoria recomendada.

### B.9.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de árbol de decisiones incluyen:

- Proporciona una representación gráfica clara de los detalles de un problema objeto de una decisión.
- El ejercicio de desarrollar el árbol puede llevar a una mejor comprensión del problema.
- Fomenta el pensamiento y la planificación claros.
- Permite calcular la mejor trayectoria por seguir en una situación y el resultado esperado.

Las limitaciones incluyen:

- Los grandes árboles de decisión se pueden volver demasiado complejos para una comunicación fácil.
- Puede haber una tendencia a simplificar demasiado la situación para poder representarla como un diagrama de árbol.
- Se basa en datos históricos que podrían no aplicarse a la decisión que se está modelando.
- Simplifica los resultados del problema objeto de la decisión discretizándolo, con lo que se eliminan los valores extremos.

#### B.9.3.6 Documento de referencia

[81] KIRKWOOD Craig, *Decision Tree Primer*.

#### B.9.4.4 Teoría de juegos

##### B.9.4.1 Descripción general

###### B.9.4.1.1 Generalidades

La teoría de juegos es un medio para modelar las consecuencias de diferentes decisiones posibles dadas en una serie de situaciones futuras posibles. Las situaciones futuras las puede determinar un tomador de decisiones diferente (por ejemplo, un competidor) o un evento externo, tal como el éxito o el fracaso de una tecnología o de una prueba. Por ejemplo, suponga que la tarea es determinar el precio de un producto teniendo en cuenta las diferentes decisiones que pueden tomar los diferentes responsables de la toma de decisiones (llamados jugadores) en diferentes momentos. Se puede calcular la retribución para cada jugador involucrado en el juego, pertinente al período de tiempo en cuestión, y se puede seleccionar la estrategia con la retribución óptima para cada jugador. La teoría de juegos también se puede utilizar para determinar el valor de la información acerca del otro jugador o los diferentes resultados posibles (por ejemplo, el éxito de una tecnología).

Hay diferentes tipos de juegos, por ejemplo, cooperativos/no cooperativos, simétricos/asimétricos, de suma cero/y de suma distinta de cero, simultáneos/secuenciales, información perfecta e información imperfecta, juegos combinatorios, resultados estocásticos.

###### B.9.4.1.2 Comunicación y juegos cooperativos y no cooperativos

Un factor importante es si la comunicación entre los jugadores es posible o permitida. Un juego es cooperativo si los jugadores son capaces de formar compromisos vinculantes. En los juegos no cooperativos, esto no es posible. Los juegos híbridos contienen elementos cooperativos y no cooperativos. Por ejemplo, en un juego cooperativo se forman coaliciones de jugadores, pero estos juegan de manera no cooperativa.

El ejemplo clásico de juegos sin comunicación entre los jugadores es el llamado "dilema del prisionero", el cual demuestra que en algunos casos la acción de cada jugador para mejorar su propio resultado sin tener en cuenta al otro puede causar la peor situación para ambos. Este tipo de juego se ha utilizado para analizar el conflicto y la cooperación entre dos jugadores donde la falta

de comunicación puede causar una situación inestable que podría resultar en el peor resultado posible para ambos jugadores. En el juego del dilema del prisionero, se supone que dos personas cometieron un crimen juntas. Se mantienen separados y no pueden comunicarse. La policía sugiere un trato. Si cada prisionero admite su culpabilidad y testifica contra el otro, recibirá una sentencia baja, pero el otro prisionero recibirá una sentencia mayor. Un prisionero recibe la pena máxima si no confiesa y testifica y el otro sí. Por lo tanto, para mejorar su situación, ambos están tentados a confesar y testificar, pero en ese caso ambos recibirán la pena máxima. Su mejor estrategia habría sido rechazar el trato y no admitir nada. En ese caso, ambos recibirían la pena mínima.

#### B.9.4.1.3 Suma cero/suma distinta de cero y juegos asimétricos simétricos/asimétricos

En un juego de suma cero, lo que un jugador gana lo pierde el otro. En un juego de suma distinta de cero, la suma de los resultados puede variar con las decisiones. Por ejemplo, bajar los precios puede costar a un jugador más que el otro, pero puede aumentar el volumen de mercado para ambos.

#### B.9.4.1.4 Juegos simultáneos/secuenciales

En algunos juegos, el cálculo se hace para una sola interacción entre los jugadores. Pero en los juegos secuenciales los jugadores interactúan muchas veces y pueden cambiar su estrategia de un juego a otro.

Por ejemplo, se han elaborado juegos de simulación para investigar el efecto de hacer trampas en un mercado. Hay dos posibilidades para cada jugador. El proveedor puede entregar o no entregar, y el cliente puede pagar o no pagar. De los cuatro resultados posibles, el resultado normal beneficia a ambos actores (el proveedor entrega y el cliente paga). El resultado de que el proveedor no entregue y el cliente no pague es una oportunidad perdida. Las dos últimas posibilidades son una pérdida para el proveedor (el cliente no paga) o para el cliente (el proveedor no entrega). La simulación prueba diferentes estrategias, tales como jugar siempre honestamente, hacer trampa o hacer trampa aleatoriamente. Se determinó que la estrategia óptima era jugar honestamente en la primera interacción y la próxima vez hacer lo que el otro jugador hizo la última vez (jugar honestamente o hacer trampa).

NOTA En la vida real es probable que el proveedor reconozca a los clientes que hacen trampa y deje de jugar con ellos.

#### B.9.4.2 Uso

La teoría del juego permite valorar el riesgo en los casos en que el resultado de una serie de decisiones depende de la acción de otro jugador (por ejemplo, un competidor) o de una serie de resultados posibles (por ejemplo, si una nueva tecnología funcionará). El siguiente ejemplo ilustra la información que se puede obtener mediante un análisis de juego.

La Tabla B.7 ilustra una situación en la que una empresa puede elegir entre tres tecnologías diferentes, pero el beneficio dependerá de la acción de un competidor (acciones 1, 2 ó 3). No se sabe qué acción elegirá el competidor, pero las posibilidades se estiman como se ilustra. Los beneficios, en millones de unidades monetarias (UM), se calculan en la tabla.

Tabla B.7. Ejemplo de una matriz de juego

	Competidor			Beneficio esperado	Beneficio garantizado	Arrepentimiento máximo
	Acción 1	Acción 2	Acción 3			
Probabilidad	0,4	0,5	0,1			
Tecnología 1	0,10	0,50	0,90	0,38	0,10	0,50
Tecnología 2	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40
Tecnología 3	0,60	0,60	0,30	0,57	0,30	0,60

La siguiente información se puede extraer de la tabla para apoyar la decisión.

Es evidente que la tecnología 3 es la mejor, con un beneficio previsto de 0,57 millones de UM, pero se debería considerar la sensibilidad a la acción del competidor. La columna de beneficio garantizado indica cuál será el beneficio para una tecnología determinada, independientemente de lo que haga el competidor. Aquí la tecnología 2 es la mejor, con un beneficio garantizado de 0,50 millones de UM. Se debería considerar si vale la pena elegir la tecnología 3 para ganar solo 0,07 millones de UM, con el riesgo de perder 0,20 millones de UM.

Además, es posible calcular el arrepentimiento máximo, que es la diferencia entre el beneficio de elegir una tecnología determinada y el beneficio posible si se hubiera conocido la acción del competidor. Esto proporciona el beneficio monetario de un mayor conocimiento de la decisión del competidor.

Esto se puede lograr mediante negociación o por otros medios legales. En este ejemplo, el valor del aumento de la información es mayor en el caso de la tecnología 3.

#### B.9.4.3 Elementos de entrada

Para estar definido completamente, es importante que un juego especifique al menos los siguientes elementos de entrada:

- los jugadores o alternativas del juego;
- la información y las acciones disponibles para cada jugador en cada punto de decisión.

#### B.9.4.4 Elemento de salida

El elemento de salida es la remuneración por cada opción en el juego, que generalmente representa la utilidad de los jugadores individuales. A menudo, en las situaciones de modelado, las remuneraciones representan dinero, pero son posibles otros resultados (por ejemplo, la participación en el mercado o el retraso de un proyecto).

#### B.9.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de la teoría de juegos incluyen:

- Desarrolla un marco para analizar la toma de decisiones cuando son posibles varias decisiones, pero en donde el resultado depende de la decisión de otro actor o del resultado de un evento futuro.

- Desarrolla un marco para analizar la toma de decisiones en situaciones en las que se tiene en cuenta la interdependencia de las decisiones tomadas por diferentes organizaciones.
- Proporciona información sobre varios conceptos menos conocidos que surgen en situaciones de conflicto de intereses; por ejemplo, describe y explica los fenómenos de la negociación y la formación de coaliciones.
- Al menos en los juegos de suma cero en dos organizaciones, la teoría de juegos esboza una técnica científica cuantitativa que puede ser utilizada por los jugadores para llegar a una estrategia óptima.

Las limitaciones incluyen:

- Se supone que los jugadores tienen conocimiento de sus propias remuneraciones y las acciones y remuneraciones de otros podrían carecer de realismo.
- Las técnicas de resolución de juegos que involucran estrategias mixtas (particularmente en el caso de una matriz de remuneración grande) son muy complicadas.
- No todos los problemas de competencia se pueden analizar con la ayuda de la teoría de juegos.

#### B.9.4.6 Documentos de referencia

- [82] MYERSON, ROGER B., *Game Theory: Analysis of Conflict*.
- [83] MARYNARD, SMITH JOHN, *Evolution and Theory of Games*.
- [84] ROSENHEAD, J. and MINGER, J. (Eds), *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*.

#### B.9.5 Análisis multicriterio (AMC)

##### B.9.5.1 Descripción general

El AMC utiliza una serie de criterios para evaluar y comparar de forma transparente el desempeño general de un conjunto de opciones. En general, la meta es producir un orden de preferencia para un conjunto de opciones. El análisis involucra el desarrollo de una matriz de opciones y criterios que se jerarquizan y agregan para obtener un puntaje global para cada opción. Estas técnicas también se conocen como toma de decisiones multiatributo (o múltiples atributos) o multiobjetivo. Hay muchas variantes de esta técnica, con muchas aplicaciones de software que las respaldan.

En general, una persona o un grupo de partes interesadas bien informadas lleva a cabo el siguiente proceso.

- Definición de los objetivos; determinación de los atributos (criterios o medidas de desempeño funcional) que se relacionan con cada objetivo.
- Estructuración de los atributos en una jerarquía de requisitos necesarios y deseables.
- Determinación de la importancia de cada criterio y asignación de valor a cada uno.

- Obtención de consenso de las partes interesadas sobre la jerarquía ponderada.
- Evaluación de las alternativas con respecto a los criterios (esto se puede representar como una matriz de puntajes).
- Combinación de múltiples puntajes de un solo atributo en una puntuación total ponderada de varios atributos.
- Valoración de los resultados para cada opción.
- Evaluación de la solidez de la jerarquización mediante una revisión de sensibilidad para explorar el impacto de cambiar las ponderaciones de la jerarquía de atributos.

Existen diferentes métodos para obtener la ponderación de cada criterio y diferentes formas de agregar los puntajes de los criterios para cada opción en un único puntaje multiatributo. Por ejemplo, los puntajes se pueden agregar como una suma ponderada o un producto ponderado o utilizando el proceso de jerarquía analítica (una técnica para obtener ponderaciones y puntajes con base en comparaciones por pares). Todos estos métodos suponen que la preferencia por un criterio no depende de los valores de los otros criterios. Cuando esta hipótesis no es válida, se utilizan diferentes modelos.

Ya que los puntajes son subjetivos, el análisis de sensibilidad es útil para examinar hasta qué punto las ponderaciones y los puntajes influyen en las preferencias generales entre las opciones.

#### B.9.5.2 Uso

El AMC se puede usar para:

- comparar múltiples opciones para un análisis de primera pasada para determinar las opciones preferidas e inapropiadas;
- comparar opciones cuando existen múltiples criterios, a veces contradictorios;
- llegar a un consenso sobre una decisión en la que diferentes partes interesadas tienen objetivos o valores contradictorios.

#### B.9.5.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada son un conjunto de opciones de análisis y criterios, basados en objetivos, que se pueden utilizar para evaluar el desempeño de las opciones.

#### B.9.5.4 Elementos de salida

Los elementos de salida se pueden presentar:

- por orden de jerarquía de las opciones, de la mejor a la menos preferida;
- una matriz en donde los ejes de la matriz son la ponderación de los criterios y la puntuación de los criterios para cada opción.

La presentación de los resultados en una matriz permite que las opciones que no cumplen criterios con una ponderación muy alta o que no cumplen un criterio necesario sean eliminadas.

#### B.9.5.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del AMC incluyen que puede:

- proporcionar una estructura sencilla para la toma de decisiones y la presentación eficientes de hipótesis y conclusiones;
- hacer más manejables los problemas de decisión complejos que no son susceptibles de análisis de costo/beneficio;
- ayudar a considerar racionalmente los problemas en los que es necesario buscar soluciones intermedias;
- ayudar a lograr acuerdos cuando las partes interesadas tienen diferentes objetivos y, por consiguiente, diferentes valores y criterios.

Las limitaciones incluyen:

- El AMC se puede ver afectado por el sesgo y la selección inadecuada de los criterios de decisión.
- Los algoritmos de agregación que calculan las ponderaciones de los criterios a partir de las preferencias declaradas o que agregan puntos vista diferentes pueden ocultar la verdadera base de la decisión.
- El sistema de puntaje puede simplificar excesivamente el problema objeto de la decisión.

#### B.9.5.6 Documentos de referencia

- [85] EN 16271:2012, *Value Management. Functional Expression of the Need and Functional Performance Specification. Requirements for Expressing and Validating the Need to be Satisfied Within the Process of Purchasing or Obtaining a Product.*

NOTA La norma EN 16271:2012 establece enfoques para conciliar las necesidades de las partes interesadas que entran en conflicto, los métodos que se pueden usar para obtener los requisitos de desempeño funcional y la orientación para establecer el nivel de detalle del análisis multicriterio antes de comparar las opciones.

- [86] DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT, *Multi-Criteria Analysis: a Manual* 2009
- [87] RABIHAH MHD.SUM (2001), *Risk Management Decision Making*.
- [88] VELASQUEZ, M., HESTER, P. *An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods.*

## B.10 TÉCNICAS DE REGISTRO Y PRESENTACIÓN DE INFORMES

### B.10.1 Generalidades

El literal B.10 presenta las técnicas utilizadas para informar y registrar información general sobre los riesgos. Los requisitos para los informes detallados se tratan en el numeral 6.6.

Un enfoque común para informar y registrar la información sobre riesgos es introducir información básica para cada riesgo en un registro de riesgos, como una hoja de cálculo o una base de datos (véase B.10.2). Algunos riesgos pueden requerir una descripción más compleja que la que se puede incluir en un registro de riesgos tradicional. Por ejemplo, una descripción podría necesitar incluir múltiples fuentes de riesgo que conduzcan a un solo evento, múltiples resultados posibles de un solo evento o fuente, efectos secundarios y fallas de control potenciales. El diagrama de corbatín es un ejemplo de una herramienta que se puede utilizar para organizar y comunicar este tipo de información (véase B.4.2.).

La información sobre la magnitud de un riesgo también se puede informar de varias maneras diferentes. El método más común es la matriz de consecuencias/posibilidades (véase B.10.3). Además de la posibilidad, las consecuencias y el nivel de riesgo, indicados por la posición en la matriz, se puede proporcionar información adicional, como la naturaleza de los controles, la medida en que se han implementado los tratamientos, etc., por medio del tamaño de los puntos que marcan el riesgo o su color.

La matriz de consecuencias/posibilidades requiere que un riesgo pueda ser representado por un único par de consecuencia/posibilidad. Cuando este no es el caso, los riesgos se pueden representar a veces mediante una función de distribución de probabilidad o una función de distribución acumulativa (véase B.10.4).

### B.10.2 Registro de riesgos

#### B.10.2.1 Descripción general

Un registro de riesgos reúne información sobre los riesgos para informar a quienes están expuestos a ellos y a quienes tienen la responsabilidad de su gestión. Puede ser en papel o en formato de base de datos y generalmente incluye:

- una breve descripción del riesgo (por ejemplo, un nombre, las consecuencias y la secuencia de los eventos que conducen a las consecuencias, etc.);
- una declaración sobre la posibilidad de que ocurran consecuencias;
- las fuentes o causas del riesgo;
- lo que se está haciendo en la actualidad para controlar el riesgo.

Los riesgos se pueden clasificar en diferentes categorías para facilitar la presentación de la información (B.2.2).

Por lo general, los riesgos se enumeran individualmente como eventos separados, pero es conveniente señalar las interdependencias.

Al registrar la información sobre los riesgos, la distinción entre riesgos (los efectos potenciales de lo que podría suceder) y fuentes de riesgo (cómo o por qué podría suceder) y controles que podrían fallar debería ser explícita. También puede ser útil indicar las señales de alerta temprana de que un evento podría estar a punto de ocurrir.

Muchos registros de riesgos también incluyen alguna clasificación de la importancia de un riesgo, una indicación de si un riesgo se considera aceptable o tolerable, o si se necesita más tratamiento y las razones de esta decisión. Cuando se aplica una calificación de importancia a un riesgo basado en las consecuencias y en su posibilidad, se debería tener en cuenta la posibilidad de que los controles fallen. No se debería asignar un nivel de riesgo al fracaso de un control como si se tratara de un riesgo independiente.

Los riesgos en los que las consecuencias son positivas se pueden registrar en el mismo documento que aquellos en los que las consecuencias son negativas, o por separado. Las oportunidades (que son circunstancias o ideas que podrían ser explotadas en lugar de eventos fortuitos) generalmente se registran por separado y se analizan de manera que se tengan en cuenta los costos, los beneficios y las consecuencias negativas potenciales. En ocasiones esto se puede denominar registro de valores y oportunidades.

#### **B.10.2.2 Uso**

Un registro de riesgos se usa para registrar y hacer seguimiento de la información sobre los riesgos individuales y cómo se están controlando. Se puede utilizar para comunicar información sobre los riesgos a las partes interesadas y poner de relieve los riesgos especialmente importantes. Se puede utilizar a nivel corporativo, departamental, operacional y de proyectos, donde hay un gran número de riesgos, controles y tratamientos que se deberían rastrear. La información de un registro de riesgos se puede consolidar para proporcionar información a la alta dirección.

Un registro de riesgos se utiliza como base para el seguimiento de la implementación de los tratamientos propuestos, por lo que puede contener información sobre los tratamientos y cómo serán implementados, o hacer referencia a otros documentos o bases de datos con esta información. (Dicha información puede incluir a los dueños de riesgos, acciones, propietarios de acciones, resúmenes de casos de negocios de acciones, presupuestos y cronogramas, etc.). En algunas situaciones se puede exigir un formato de registro de riesgos.

#### **B.10.2.3 Elementos de entrada**

Los elementos de entrada a un registro de riesgos son generalmente los resultados de técnicas de evaluación del riesgo como las descritas en los literales B.1 a B.4, complementados con registros de fallas.

#### **B.10.2.4 Elementos de salida**

Los elementos de salida son registros de información e informes sobre los riesgos.

#### **B.10.2.5 Fortalezas y limitaciones**

Las fortalezas de los registros de riesgos incluyen:

- La información sobre los riesgos está reunida en una forma que permite identificar y hacer seguimiento de las acciones necesarias.
- La información sobre los diferentes riesgos se presenta en un formato comparable que se puede utilizar para indicar las prioridades y es relativamente fácil de consultar.
- La construcción de un registro de riesgos suele involucrar a muchas personas y aumenta la conciencia general sobre la necesidad de gestionar los riesgos.

Las limitaciones incluyen:

- Los riesgos capturados en los registros de riesgos suelen basarse en eventos, lo que puede dificultar la caracterización precisa de algunas formas de riesgo (véase el numeral 4.2).
- La aparente facilidad de uso puede dar lugar a una confianza equivocada en la información, ya que puede ser difícil describir los riesgos de manera consistente y a menudo se confunden las fuentes de riesgo, los riesgos y las debilidades en los controles de riesgo.
- Hay muchas maneras diferentes de describir un riesgo y cualquier prioridad asignada dependerá de la forma en que se describa el riesgo y del nivel de desagregación de la cuestión.
- Se requiere un esfuerzo considerable para mantener al día un registro de riesgos (por ejemplo, todos los tratamientos propuestos deberían figurar como controles actuales una vez que se implementen, deben añadirse continuamente nuevos riesgos y deben eliminarse los que ya no existen).

Por lo general, los riesgos se registran individualmente en los registros de riesgos. Esto puede dificultar la consolidación de la información para desarrollar un programa general de tratamiento.

#### B.10.2.6 Documentos de referencia

No hay documentos de referencia para esta técnica.

### B.10.3 Matriz de consecuencias/posibilidades (matriz de riesgos o mapa térmico)

#### B.10.3.1 Descripción general

La matriz de consecuencias/posibilidades (también conocida como matriz de riesgos o mapa térmico) es una forma de visualizar los riesgos según su consecuencia y posibilidad y de combinar estas características para mostrar una calificación de la importancia del riesgo.

Para los ejes de la matriz se definen escalas personalizadas para las consecuencias y las posibilidades. Las escalas pueden tener cualquier número de puntos -las escalas de tres, cuatro o cinco puntos son las más comunes- y pueden ser cualitativas, semicuantitativas o cuantitativas. Si se utilizan descripciones numéricas para definir los pasos de las escalas, estas deberían ser coherentes con los datos disponibles y se deberían indicar las unidades. Por lo general, para que haya coherencia con los datos, cada punto de la escala en las dos escalas deberá ser un orden de magnitud mayor que el anterior.

La escala (o escalas) de consecuencias puede(n) representar consecuencias positivas o negativas. Las escalas deberían estar relacionadas directamente con los objetivos de la organización, y se deberían extender desde la consecuencia máxima creíble hasta la consecuencia mínima de interés. En la Figura B.15 se ilustra un ejemplo parcial de las consecuencias adversas.

Calificación	Finanzas	Salud y seguridad	Ambiente y comunidad y	Etc.
A	Pérdida máxima creíble (\$)	Múltiples víctimas mortales	Daño significativo Irreversible; atropello a la comunidad	
B				
C				
D				
E	Interés mínimo (\$)	Solo se requieren primeros auxilios	Daño temporal menor	

**Figura B.15. Ejemplo parcial de la tabla que define escalas de consecuencias**

NOTA El uso de ejemplos parciales impide la utilización directa de ejemplos, con el fin de hacer énfasis en que siempre es conveniente personalizar las escalas.

Se pueden utilizar categorías de consecuencias adicionales o de menos consecuencias y las escalas pueden tener menos o más de cinco puntos, dependiendo del contexto. La columna de clasificación de consecuencias puede ser en palabras, números o letras.

La escala de posibilidad debería abarcar el rango pertinente a los datos de los riesgos que se van a calificar. En la Figura B.16 se presenta un ejemplo parcial de una escala de posibilidad.

Calificación	Descriptor	Significado del descriptor
5	Probable	Se espera que ocurra en semanas
4		
3		
2		
1	Remotamente posible	Teóricamente posible pero extremadamente improbable

**Figura B.16. Ejemplo parcial de una escala de posibilidad**

La escala de clasificación de posibilidad puede tener más o menos de cinco puntos y las calificaciones se pueden dar como palabras, números o letras.

La escala de posibilidad se debería adaptar a la situación y puede necesitar cubrir un rango diferente de consecuencias positivas o negativas. Si se considera que la consecuencia más alta es tolerable con una posibilidad baja, entonces el paso más bajo de la escala de posibilidad debería representar una posibilidad aceptable para la consecuencia más alta definida (de lo contrario, todas las actividades con la consecuencia más alta se definen como no tolerables y no pueden hacerse tolerables). Al decidir la posibilidad tolerable de un único riesgo de consecuencias elevadas, se debería tener en cuenta el hecho de que múltiples riesgos pueden dar lugar a la misma consecuencia.

Se dibuja una matriz con consecuencia en un eje y posibilidad en el otro correspondiente a las escalas definidas. Se puede vincular una calificación de prioridad a cada celda. En el ejemplo que se muestra a continuación son cinco calificaciones de prioridad, que se indican mediante números romanos. Por lo general, los recuadros están coloreados para indicar la magnitud del riesgo. Las reglas de decisión (como el nivel de atención de la dirección o la urgencia de la respuesta) pueden estar vinculadas a las celdas de la matriz. Éstas dependerán de las definiciones utilizadas para las escalas y de la actitud de la organización ante el riesgo. El diseño debería permitir que la prioridad de un riesgo se base en el grado en que el riesgo conduce a resultados que están fuera de los umbrales de desempeño definidos por la organización para sus objetivos.

La matriz se puede configurar para dar peso adicional a las consecuencias (como se ilustra en la Figura B.17) o a la posibilidad, o puede ser simétrica, dependiendo de la aplicación.

	a	III	III	II	I	I
Calificación de consecuencias	b	IV	III	III	II	I
	c	V	IV	III	II	I
	d	V	V	IV	III	II
	e	V	V	IV	III	II
	1	2	3	4	5	
	Calificación de posibilidad					→

Figura B.17. Ejemplo de matriz de consecuencias/posibilidades

### B.10.3.2 Uso

Una matriz de consecuencias/posibilidades se usa para evaluar y comunicar la magnitud relativa de los riesgos sobre la base de un par de consecuencias/posibilidades que por lo general se asocia con un evento focal.

Para calificar un riesgo, el usuario encuentra primero el descriptor de consecuencias que mejor se adapte a la situación y luego define la posibilidad con la que se cree que ocurrirá la consecuencia. Se coloca un punto en la casilla que combina estos valores, y el nivel de riesgo y la regla de decisión asociada se leen en la matriz.

Los riesgos con consecuencias potencialmente altas son a menudo los que más preocupan a los responsables de la toma de decisiones, incluso cuando la posibilidad sea muy baja, pero un riesgo

frecuente, pero de bajo impacto puede tener grandes consecuencias acumulativas o a largo plazo. Puede ser necesario analizar ambos tipos de riesgos, ya que los tratamientos de riesgo pertinentes pueden ser muy diferentes.

Cuando sea posible una gama de valores de consecuencia diferentes a partir de un evento, la posibilidad de una consecuencia particular será diferente de la posibilidad del evento que produce esa consecuencia. Generalmente, se utiliza la posibilidad de la consecuencia especificada. La forma en que se interpreta y utiliza esa posibilidad debería ser coherente en todos los riesgos que se comparan.

La matriz se puede utilizar para comparar riesgos con diferentes tipos de consecuencias potenciales y tiene aplicación en cualquier nivel de una organización. Se utiliza comúnmente como herramienta de selección cuando se han identificado muchos riesgos, por ejemplo, para definir qué riesgos se deberían llevar a un nivel de dirección superior. También se puede utilizar para ayudar a determinar si un determinado riesgo es aceptable en términos generales o no, según la zona en la que se encuentre en la matriz. Se puede utilizar en situaciones en las que no hay datos suficientes para un análisis detallado o en las que la situación no justifica el tiempo y el esfuerzo para un análisis más detallado o cuantitativo. Se puede utilizar una forma de matriz de consecuencias/posibilidades para el análisis de criticidad en AMEFC (B.2.3) o para establecer prioridades después de HAZOP (B.2.4) o SWIFT (B.2.6).

#### B.10.3.3 Elementos de entrada

Es necesario desarrollar una matriz de consecuencias/posibilidades que se adapte al contexto. Esto requiere que se disponga de algunos datos para establecer escalas realistas. Los borradores de las matrices se deben poner a prueba para asegurar que las acciones sugeridas por la matriz coincidan con la actitud de la organización ante el riesgo y que los usuarios entiendan correctamente la aplicación de las escalas.

El uso de la matriz necesita personas (idealmente un equipo) que comprendan los riesgos que se están calificando y los datos que estén disponibles para ayudar a juzgar las consecuencias y su posibilidad.

#### B.10.3.4 Elementos de salida

El resultado es una visualización que ilustra la posibilidad de consecuencias relativas y el nivel de riesgo de los diferentes riesgos, así como una calificación de la importancia de cada uno de ellos.

#### B.10.3.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- Es relativamente fácil de usar.
- Proporciona una jerarquización rápida de los riesgos en diferentes niveles de importancia.
- Proporciona una visualización clara de la pertinencia del riesgo por consecuencia, posibilidad o nivel de riesgo.
- Se puede utilizar para comparar riesgos con diferentes tipos de consecuencias.

Las limitaciones incluyen las siguientes.

- Se requieren conocimientos y experiencia adecuados para diseñar una matriz válida.
- Puede ser difícil definir escalas comunes que se apliquen en una serie de circunstancias pertinentes para una organización.
- Es difícil definir las escalas sin ambigüedades para que los usuarios puedan ponderar las consecuencias y la posibilidad de manera consistente.
- La validez de las calificaciones de riesgo depende de lo adecuado del desarrollo y calibración de las escalas.
- Requiere que se defina un único valor indicativo para la consecuencia, mientras que en muchas situaciones es posible una gama de valores de consecuencia y la jerarquización del riesgo depende de cuál se elija.
- Una matriz calibrada apropiadamente implicará niveles de posibilidad muy bajos para muchos riesgos individuales, lo cual es difícil de conceptualizar.
- Su uso es muy subjetivo y diferentes personas a menudo asignan calificaciones muy diferentes al mismo riesgo, por lo que queda abierto a la manipulación.
- Los riesgos no se pueden agregar directamente (por ejemplo, no se puede definir si un número determinado de riesgos bajos, o un riesgo bajo identificado un número determinado de veces, equivale a un riesgo medio).
- Es difícil combinar o comparar el nivel de riesgo para diferentes categorías de consecuencias.
- Una jerarquización válida requiere una formulación coherente de los riesgos (lo cual es difícil de lograr).
- Cada calificación dependerá de la forma en que se describa un riesgo y del nivel de detalle dado (es decir, cuanto más detallada sea la identificación, mayor será el número de escenarios registrados, cada uno con menor posibilidad). La forma en que se agrupen los escenarios para describir el riesgo debería ser coherente y se debería definir antes de la jerarquización.

#### B.10.3.6 Documentos de referencia

- [89] ELMONSTRI, Mustafa, *Review of the Strengths and Weaknesses of Risk Matrices*.
- [90] BAYBUTT, Paul, *Calibration of Risk Matrices for Process Safety*.

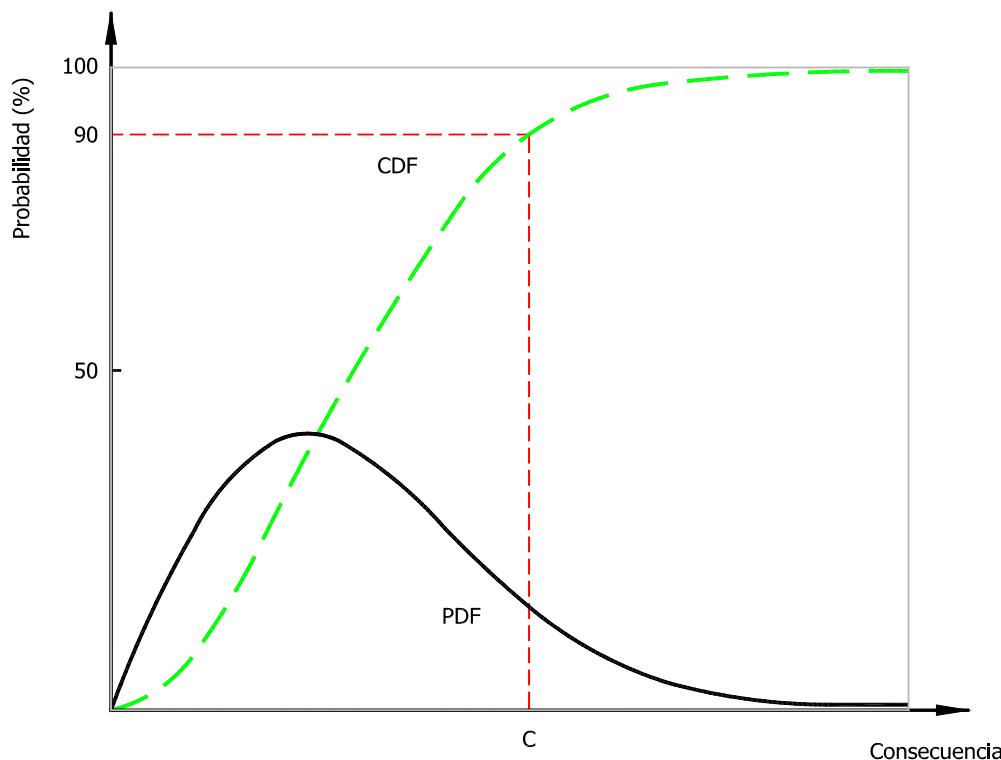
#### B.10.4 Curvas en S

##### B.10.4.1 Descripción general

Cuando un riesgo pudiera tener un rango de valores de consecuencia, se pueden visualizar como una distribución de probabilidad de consecuencias (PDF). Véase, por ejemplo, la curva sólida de la

Figura B.18. Los datos también se pueden graficar como una distribución acumulativa (CDF), que se denomina en ocasiones curva S (la línea discontinua en la Figura F.18). La PDF puede ser paramétrica o no paramétrica.

La probabilidad de que una consecuencia exceda un valor particular se puede leer directamente de la curva S. Por ejemplo, la Figura B.18 indica que hay un 90 % de probabilidad de que las consecuencias no excedan el valor C de la consecuencia.



**Figura B.18. Función distribución de probabilidad y función distribución acumulativa**

En algunos casos, la forma de la distribución se conoce desde un punto de vista teórico. En otros, la forma de la distribución puede obtenerse a partir de datos o es el elemento de salida de un modelo.

También es posible utilizar el juicio de expertos para estimar el punto bajo del rango de consecuencias, el punto medio probable y el punto superior del rango. Se pueden utilizar varias fórmulas para determinar el valor medio de la consecuencia y la varianza, y se puede trazar una curva a partir de esta información.

#### B.10.4.2 Uso

Una PDF indica la probabilidad de diferentes valores de consecuencia en una forma visual que ilustra el valor más probable, el grado de variabilidad y el grado de posibilidad de un evento extremo.

En algunas circunstancias, puede ser útil obtener un único valor representativo de la distribución de probabilidad, por ejemplo, para comparar con criterios de evaluación. A menudo se utiliza el valor esperado (equivalente a la media) para representar la mejor estimación de la magnitud de las consecuencias. (Esto es equivalente a la suma de los productos de posibilidades y consecuencia

representados por la curva.) Otras medidas incluyen la varianza de la distribución o algún rango de percentiles, como la dispersión intercuartil (el ancho de la escala comprendida entre el percentil 25° y el 75°), o el percentil 5° y 95° percentil (véase por ejemplo VaR B.7.2). Sin embargo, es posible que esas medidas no hagan suficiente énfasis en la posibilidad de que se produzcan consecuencias extremas que pueden ser importantes para las decisiones que se deben adoptar. Por ejemplo, al seleccionar una inversión, se tienen en cuenta tanto el rendimiento esperado como las fluctuaciones de este; al planificar cómo responder al fuego, es necesario tener en cuenta los eventos extremos y las consecuencias esperadas.

La curva en S es una herramienta útil cuando se discuten valores de consecuencia que representan un riesgo aceptable. Es un medio de presentación de datos que facilita la visualización de la probabilidad de que las consecuencias superen un valor determinado.

#### B.10.4.3 Elementos de entrada

La construcción de una curva en S requiere datos o juicios a partir de los cuales se pueda obtener una distribución válida. Aunque las distribuciones se pueden obtener mediante juicios con pocos datos, la validez de la distribución y las estadísticas obtenidas de ella serán mayores cuanta mayor cantidad de datos haya disponibles.

#### B.10.4.4 Elementos de salida

Los elementos de salida son un diagrama que pueden utilizar los responsables de la toma de decisiones al considerar la aceptabilidad de un riesgo, y varias estadísticas de la distribución que se pueden comparar con los criterios.

#### B.10.4.5 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- La técnica representa la magnitud de un riesgo cuando hay una distribución de las consecuencias.
- Por lo general, los expertos pueden emitir juicios sobre los valores máximo, mínimo y más probable de las consecuencias y producir una estimación razonable de la forma probable de una distribución. La transferencia de esta información a la forma de una distribución acumulada facilita el uso de esta información por parte de personas no expertas. A medida que se dispone de más datos de entrada fiables, mejora la exactitud de la curva S.

Las limitaciones incluyen:

- El método puede dar una impresión de exactitud que no se justifica por el nivel de certeza de los datos a partir de los cuales se produjo la distribución.
- Para cualquier método de obtención de valor o valores puntuales que representen una distribución de consecuencias, existen hipótesis subyacentes e incertidumbres acerca de:
  - la forma de la distribución (por ejemplo, normal, discreta o muy sesgada);
  - la forma más apropiada de representar esa distribución como un valor puntual;

- el valor de la estimación puntual debido a las incertidumbres inherentes a los datos de los que se obtiene.
- Las distribuciones y sus estadísticas basadas en la experiencia o en datos del pasado proporcionan poca información sobre la posibilidad de eventos futuros con consecuencias extremas pero baja posibilidad.

**B.10.3.6 Documentos de referencia**

- [91] GARVEY, P., BOOK S.A., COVERT R.P. *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis: A Systems Engineering Perspective*.

## BIBLIOGRAFÍA

### GENERAL

- [1] Principe "GAME" (*Globalement au moins équivalent*) *Methodologie de Demonstration, Les Guides d'application*. Systèmes de Transport Public Guidés Urbains de Personnes. 2011.
- [2] FEKETE ISTVAN, *Integrated Risk Assessment for Supporting Management Decisions* Scholars Press, Saarbrücken, Germany 2015.
- [3] PEACE, C. *The Reasonably Practicable Test and Work Health and Safety-Related Risk Assessments* New Zealand Journal of Employment Relations. 2017, 42(2), 61-78."

### Técnicas para obtener los puntos de vista de las partes interesadas y de los expertos

- [4] EN 12973, *Value Management*.
- [5] PROCTOR, A. *Creative Problem Solving for Managers*. Abingdon: Routledge.
- [6] GOLDENBERG, Olga, WILEY, Jennifer. Quality, Conformity, and Conflict: Questioning the Assumptions of Osborn's Brainstorming Technique, *The Journal of Problem Solving*. 2011, 3(2),96-108 [consultado en 2019-02-13] Disponible en:  
<http://docs.lib.psu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1093&context=jps>
- [7] ROWE, G. WRIGHT, G. The Delphi Technique: Past, Present, and Future Prospects. *Technological Forecasting and Social Change*. 2011, 78, Special Delphi Issue.
- [8] MCDONALD, D. BAMMER, G. and DEANE, P. *Research Integration Using Dialogue Methods*, ANU press Canberra. 2009 Chapter 3 Dialogue Methods for Understanding a Problem: Integrating Judgements. Section 7 Nominal Group Technique.  
[consultado en 2019-02-13]. Disponible en <http://press.anu.edu.au/node/393/download>
- [9] HARRELL, M.C. BRADLEY, M.A. 2009 *Data Collection Methods – A training Manual – Semi Structured Interviews and Focus Groups*, RAND National Defence Research Institute USA [consultado en 2019-02-13]. Disponible en:  
[http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/technical\\_reports/2009/RAND\\_TR718.pdf](http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/technical_reports/2009/RAND_TR718.pdf)
- [10] GILL, J. JOHNSON, P. *Research Methods for Managers* 4th ed. 2010 London: Sage Publications Ltd.
- [11] SAUNDERS, M. LEWIS, P. THORNHILL, A. *Research Methods for Business Students* 7th ed. 2016 Harlow: Pearson Education Ltd.
- [12] UNIVERSITY OF KANSAS COMMUNITY TOOL BOX Section 13 *Conducting surveys*; [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <https://ctb.ku.edu/en/table-of-contents/assessment/assessing-community-needs-and-resources/conduct-surveys/main>.

**Técnicas para identificar el riesgo**

- [13] MATHERLY, Carter *The Red Teaming Essential: Social Psychology Premier for Adversarial Based Alternative Analysis.* 2013 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <https://works.bepress.com/matherly/6/download/>
- [14] Pestle analysis Free Management eBooks [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://www.free-management-ebooks.com/dldebk/dlst-pestle.htm>
- [15] POPOV, G., LYON, B., HOLLACROFT, B., *Risk Assessment: A Practical Guide to Assessing Operational Risks.* Hoboken, NJ: Wiley, 2016.
- [16] IEC 62740, *Root Cause Analysis (RCA).*
- [17] BROUGHTON, Vanda. *Essential Classification.* Facet Publishing 2015.
- [18] BAILEY, Kenneth. *Typologies and Taxonomies: An introduction to Classification Technique. Quantitative Applications in the Social Sciences Series 7,102* 1994 Sage Publications.
- [19] VDI 2225 Blatt 1, *Konstruktionsmethodik. Technisch-Wirtschaftliches Konstruieren.* Vereinfachte Kostenermittlung, 1997 Beuth Verlag.
- [20] IEC 60812, *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA and FMECA).*
- [21] IEC 61882, *Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies). Application Guide.*
- [22] RINGLAND, Gill. *Scenarios in Business,* Chichester: John Wiley, 2002.
- [23] Van der HEIJDEN, Kees. *Scenarios: The art of Strategic Conversation,* Chichester: John Wiley, 2005.
- [24] CHERMACK, Thomas J. *Scenario Planning in Organizations,* San Francisco: Berrett Koehler Publishers Inc. 2011.
- [25] MUKUL PAREEK, *Using Scenario Analysis for Managing Technology Risk:* [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://www.isaca.org/Journal/archives/2012/Volume-6/Pages/Using-Scenario-Analysis-for-Managing-Technology-Risk.aspx>
- [26] CARD, Alan J. WARD, James R. and CLARKSON, P. John. Beyond FMEA: The Structured What-if Technique (SWIFT) *Journal of Healthcare Risk Management,* 2012, 31, (4) 23–29

**Técnicas para determinar las fuentes, causas y factores de riesgo**

- [27] KERVERN, G-Y. *Elements Fondamentaux Des Cindyniques,* Editions Economica 1995.
- [28] KERVERN, G-Y. *Latest Advances in Cindynics,* Editions Economica, 1994.
- [29] KERVERN, G-Y. & BOULENGER, P. *Cindyniques. Concepts et mode d'emploi,* Edition Economica 2007.

- [30] ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control, Asia Productivity Organization, 1986.

#### Techniques to analyse existing controls

- [31] LEWIS, S. SMITH, K., Lessons learned from real world application of the bow-tie method. *6th AIChE. Global Congress of Process Safety*, 2010, San Antonio, Texas [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://risktecsolutions.co.uk/media/43525/bowtie%20lessons%20learned%20-%20aiche.pdf>
- [32] HALE, A. R., GOOSSENS L.H.J., ALE, B.J.M., BELLAMY L.A. POST J. *Managing Safety Barriers and Controls at the Workplace*. In *Probabilistic Safety Assessment and Management*. Editors SPITZER C, SCHMOCKER, U, DANG VN. Berlin: Springer; 2004. pp. 608–13.
- [33] MCCONNELL, P. and DAVIES, M. *Scenario Analysis Under Basel II*. [consultado en 2019-02-13]. Disponible en <http://www.continuitycentral.com/feature0338.htm>
- [34] ISO 22000, *Food Safety Management Systems. Requirements for Any Organization in the Food Chain*.
- [35] Food Quality and Safety Systems. A Training Manual on Food Hygiene and the Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) System [consultado en 2019-02-13]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W8088E/w8088e05.htm>
- [36] IEC 61508 (All Parts), *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems*.
- [37] IEC 61511 (all parts), *Functional Safety. Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector*.
- [38] CENTRE FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY OF THE AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS New York 2001. *Layer of Protection Análisis. Simplified Process Risk Assessment*.

#### Techniques for understanding consequence and posibilidad

- [39] GHOSH, J., DELAMPADY, M. and SAMANTA, T. *An Introduction to Bayesian Analysis*, New York Springer-Verlag, 2006.
- [40] QUIGLEY, J.L., BEDFORD, T.J. and WALLS, L.A. Prior Distribution Elicitation. In: *Encyclopaedia of Statistics in Quality and Reliability*. Wiley. 2008 ISBN 9780470018613.
- [41] NEIL, Martin and FENTON, Norman. *Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks*. CRC Press, 2012.
- [42] JENSEN, F.V., NIELSEN T. D. *Bayesian Networks and Decision Graphs*, 2nd ed. Springer, New York, 2007.
- [43] NICHOLSON, A., WOODBERRY O and TWARDY C, *The "Native Fish" Bayesian Networks*. Bayesian Intelligence Technical Report 2010/3, 2010.

- [44] NETICA TUTORIAL Introduction to Bayes Nets: What is a Bayes Net? [consultado en 2019-02-13]. Disponible en [https://www.norsys.com/tutorials/netica/secA/tut\\_A1.htm](https://www.norsys.com/tutorials/netica/secA/tut_A1.htm)
- [45] ISO/TS 22317, *Societal Security. Business Continuity Management Systems. Guidelines for Business Impact Analysis (BIA)*.
- [46] ISO 22301, *Societal Security. Business Continuity Management Systems. Requirements*.
- [47] ANDREWS J.D, RIDLEY L.M. 2002. Application of the Cause-Consequence Diagram Method to Static Systems, *Reliability Engineering and system safety* 75(1) 47-58: also at <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/695/1/01-22.pdf> [consultado en 2019-02-13].
- [48] NIELSEN D.S. The Cause/Consequence Diagram Method as a Basis for Quantitative Accident Analysis, Danish Atomic Energy Commission, RISO-M-1374, May 1971.
- [49] IEC 62502, *Analysis Techniques for Dependability. Event Tree Analysis (ETA)*.
- [50] IEC TR 63039:2016, *Probabilistic Risk Analysis of Technological Systems. Estimation of Final Event Rate at a Given Initial State*.
- [51] IEC 62508, *Guidance on Human Aspects of Dependability*.
- [52] BELL Julie, HOLROYD Justin, *Review of human reliability assessment methods*. Health and Safety Executive UK, HMSO 2009, [consultado en 2019-02-13]. Disponible en <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr679.pdf>
- [53] OECD Establishing the Appropriate Attributes in Current Human Reliability Assessment Techniques for Nuclear Safety, NEA/CSNI/R 2015 [consultado en 2019-02-13] Disponible en: [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R\(2015\)1&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=NEA/CSNI/R(2015)1&docLanguage=En)
- [54] IEC 61165, *Application of Markov Techniques*.
- [55] OXLEY, ALAN. Markov Processes in Management Science, Published by Applied Probability Trust, 2011 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en <https://studylib.net/doc/8176892/markov-processes-in-management-science>
- [56] ISO/IEC Guide 98-3:2008/Suppl.1:2008, *Uncertainty of Measurement. Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM:1995). Supplement 1: Propagation of Distributions using a Monte Carlo Method*.
- [57] EU: General Data Protection Regulation (European Union Official Journal, 04.05.2016)
- [58] ICO (UK): *Conducting Privacy Impact Assessments Code of Practice* [consultado en 2019-02-13] Disponible en: <https://ico.org.uk/media/about-the-ico/consultations/2052/draftconducting-privacy-impact-assessments-code-of-practice.pdf>
- [59] CNIL (FR), *Privacy Impact Assessment (PIA)* [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <https://www.cnil.fr/en/privacy-impact-assessment-pia>

**Técnicas de análisis de dependencias e interacciones**

- [60] BRYSON, J. M., ACKERMANN, F., EDEN, C., & FINN, C. (2004). *Visible Thinking Unlocking Causal Mapping for Practical Business Results*. Chichester: John Wiley & Sons.
- [61] ACKERMANN, F, HOWICK, S, QUIGLEY, J, WALLS, L, HOUGHTON, T. Systemic risk elicitation: Using Causal Maps to Engage Stakeholders and Build a Comprehensive View of Risks, *European Journal of Operational Research* 2014, 238(1), 290-299.
- [62] JOINT RESEARCH CENTRE, EUROPEAN COMMISSION, *Cross-Impact análisis* [consultado en 2019-02-13] Disponible en:  
[http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/2\\_design/meth\\_cross-impact-analysis.htm](http://forlearn.jrc.ec.europa.eu/guide/2_design/meth_cross-impact-analysis.htm)

**Técnicas que proporcionan una medida del riesgo**

- [63] WORLD HEALTH ORGANISATION Human Health Risk Assessment Toolkit. Chemical Hazards. 2010 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en <http://www.inchem.org/documents/harmproj/harmproj/harmproj8.pdf>
- [64] US EPA *Guidelines for Ecological Risk Assessment* 1998 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en [https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/eco\\_risk\\_assessment1998.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/eco_risk_assessment1998.pdf)
- [65] POTENCIAL, D., BROOKS, R. *An introduction to derivatives and risk management*, (9th ed.). Published Mason, Ohio: South-Western Cengage Learning 2013.
- [66] THOMAS J. and PEARSON Neil D. Value at risk. *Financial Analysts Journal* 2000 56, 47-67
- [67] CHOUDHRY , M. *An introduction to Value at Risk*, Ed. 5, John Wiley and Sons, Chichester UK, 2013
- [68] *Value at Risk* New York University. [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/pdffiles/papers/VAR.pdf>

**Técnicas para valorar la importancia del riesgo**

- [69] UK HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2010a: *HID'S Approach To 'As Low As Reasonably Practicable' (ALARP) Decisions* [consultado en 2019-02-13] Disponible en: <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpglance.htm>
- [70] UK HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2010b: *Guidance on (ALARP) Decisions in Control of Major Accident Hazards (COMAH)*, [consultado en 2019-02-13] Disponible en: [http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid\\_circs/permissioning/spc\\_perm\\_37/](http://www.hse.gov.uk/foi/internalops/hid_circs/permissioning/spc_perm_37/)
- [71] UK HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 2014: *Principles and guidelines to assist HSE in its judgments that duty-holders have reduced risk as low as reasonably practicable* [consultado en 2019-02-13] Disponible en: <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp1.htm>

- [72] AMERICAN INSTITUTE FOR CHEMICAL ENGINEERS: Understanding and using F-N Diagrams: Annex A in Guidelines for Developing Quantitative Safety Risk Criteria. New York. John Wiley 2009
- [73] EVANS, A. *Transport fatal accidents and FN-curves: 1967-2001*. Health and Safety Executive Research Report RR 073 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20101111125221>  
<http://www.railreg.gov.uk/upload/pdf/rr073.pdf>
- [74] *Pareto Chart, Excel Easy* [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://www.exceleasy.com/examples/pareto-chart.html>
- [75] *Pareto Chart* [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://www.uphs.upenn.edu/gme/pdfs/Pareto%20Chart.pdf>
- [76] IEC 60300-3-11, *Dependability Management. Part 3-11: Application Guide. Reliability Centred Maintenance*.
- [77] MACKENZIE Cameron A. *Summarizing Risk Using Risk Measures and Risk Indices. Risk Analysis*, 34,12 2143-2163 2014.

### Técnicas para seleccionar entre opciones

- [78] KHOJASTEH, P, (2016). Application of Benefit-Cost-Risk Formula and Key Change Indicators to Meet Project Objectives [consultado en 2019-02-13]. Disponible en <https://www1.bournemouth.ac.uk/sites/default/files/asset/document/Mon%205.1%20Khojast eh%20Pejman%20Risk.pdf>
- [79] The Green book, Appraisal and Evaluation in Central Government; 2011 Treasury Guidance LONDON: TSO London.
- [80] ANDOSEH, S., et al. The case for a real options approach to ex-ante cost-benefit analyses of agricultural research projects. *Food policy* 44, 2014, 218-226 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/pnaec758.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnaec758.pdf)
- [81] KIRKWOOD, CRAIG. Decision Tree Primer University of Arizona in *Decision Analysis and System Dynamics resources* 2002 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://www.public.asu.edu/~kirkwood/DASstuff/decisiontrees/>
- [82] MYERSON, ROGER B., *Game Theory: Analysis of Conflict*, Harvard University Press, 1991
- [83] MARYNARD, SMITH JOHN *Evolution and Theory of Games*, Cambridge University Press 1982.
- [84] ROSENHEAD, J. and MINGER, J. (Eds), Rational Analysis for a Problematic World Revisited, 2nd ed. Wiley, Chichester UK, 2001.
- [85] EN 16271:2012, *Value Management. Functional Expression of the Need and Functional Performance Specification. Requirements for Expressing and Validating the Need to be Satisfied Within the Process of Purchasing or Obtaining a Product*.

- [86] DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT, *Multi-Criteria Analysis: a manual* 2009 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <https://www.gov.uk/government/publications/multi-criteria-analysis-manual-for-making-government-policy>
- [87] RABIHAH MHD.SUM, *Risk Management Decision Making*, 2001 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: <http://www.isahp.org/uploads/47.pdf>
- [88] VELASQUEZ, M., HESTER, P. An Analysis of Multi-criteria Decision Making Methods, *International Journal of Operations Research*, 10 (2), 55-66, 2013 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en: [http://www.orstw.org.tw/ijor/vol10no2/ijor\\_vol10\\_no2\\_p56\\_p66.pdf](http://www.orstw.org.tw/ijor/vol10no2/ijor_vol10_no2_p56_p66.pdf)

#### Técnicas de registro y presentación de informes

- [89] ELMONSTRI, Mustafa, *Review of the Strengths and Weaknesses of Risk Matrices*, *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 4 (1), 49-57, 2014 [consultado en 2019-02-13]. Disponible en [http://www.atlantis-press.com/php/download\\_paper.php?id=11718](http://www.atlantis-press.com/php/download_paper.php?id=11718)
- [90] BAYBUTT, Paul, Calibration of Risk Matrices for Process Safety. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 38, 163-168, 2015
- [91] GARVEY, P., BOOK S.A., COVERT R.P. *Probability Methods for Cost Uncertainty Analysis: A Systems Engineering Perspective*, Ed 2 Annex E Unravelling the S curve. CRC 2016

**DOCUMENTO DE REFERENCIA**

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION/ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Risk Management. Risk Assessment Techniques.* Geneva: IEC/ISO, 2019, 124 p. (IEC/ISO 31010).

## Colombia

**Apartadó**  
apartado@icontec.org

**Armenia**  
armenia@icontec.org

**Barranquilla**  
barranquilla@icontec.org

**Barrancabermeja**  
barrancabermeja@icontec.org

**Bogotá**  
bogota@icontec.org

**Bucaramanga**  
bucaramanga@icontec.org

**Cali**  
cali@icontec.org

**Cartagena**  
cartagena@icontec.org

**Cúcuta**  
cucuta@icontec.org

**Manizales**  
manizales@icontec.org

**Medellín**  
medellin@icontec.org

**Montería**  
monteria@icontec.org

**Ibagué**  
ibague@icontec.org

**Neiva**  
neiva@icontec.org

**Pereira**  
pereira@icontec.org

**Pasto**  
pasto@icontec.org

**Villavicencio**  
villavicencio@icontec.org

## Resto del mundo

**Bolivia**  
bolivia@icontec.org

**Ecuador**  
ecuador@icontec.org

**Honduras**  
honduras@icontec.org

**Panamá**  
panama@icontec.org

**Costa Rica**  
costarica@icontec.org

**El Salvador**  
elsalvador@icontec.org

**México**  
mexico@icontec.org

**República Dominicana**  
republicadominicana@icontec.org

**Chile**  
chile@icontec.org

**Guatemala**  
guatemala@icontec.org

**Nicaragua**  
nicaragua@icontec.org

**Perú**  
peru@icontec.org

Canales de atención al cliente:

Bogotá: **607 8888**

Resto del país: **01 8000 94 9000**

cliente@icontec.org

[www.icontec.org](http://www.icontec.org)