

**NORMA  
CHILENA**

**NCh-ISO 31010**

Primera edición  
2013.03.27

---

---

**Gestión del riesgo - Técnicas de  
evaluación del riesgo**

*Risk management - Risk assessment techniques*



Número de referencia  
NCh-ISO 31010:2013

© INN 2013





## DOCUMENTO PROTEGIDO POR COPYRIGHT

© INN 2013

### Derechos de autor:

La presente Norma Chilena se encuentra protegida por derechos de autor o copyright, por lo cual, no puede ser reproducida o utilizada en cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, sin permiso escrito del INN. La publicación en Internet se encuentra prohibida y penada por la ley.

Se deja expresa constancia que en caso de adquirir algún documento en formato impreso, éste no puede ser copiado (fotocopia, digitalización o similares) en cualquier forma. Bajo ninguna circunstancia puede ser revendida. Asimismo, y sin perjuicio de lo indicado en el párrafo anterior, los documentos adquiridos en formato .pdf, tiene autorizada sólo una impresión por archivo, para uso personal del Cliente. El Cliente ha comprado una sola licencia de usuario para guardar este archivo en su computador personal. El uso compartido de estos archivos está prohibido, sea que se materialice a través de envíos o transferencias por correo electrónico, copia en CD, publicación en Intranet o Internet y similares.

Si tiene alguna dificultad en relación con las condiciones antes citadas, o si usted tiene alguna pregunta con respecto a los derechos de autor, por favor contacte la siguiente dirección:

Instituto Nacional de Normalización - INN  
Matías Cousiño 64, piso 6 • Santiago de Chile  
Tel. + 56 2 445 88 00  
Fax + 56 2 441 04 29  
Correo Electrónico [info@inn.cl](mailto:info@inn.cl)  
Sitio Web [www.inn.cl](http://www.inn.cl)  
Publicado en Chile

**Contenido****Página**

Preámbulo .....	ii
0 Introducción .....	1
1 Alcance y campo de aplicación .....	2
2 Referencias normativas .....	2
3 Términos y definiciones .....	3
4 Conceptos de evaluación del riesgo .....	3
4.1 Propósito y beneficios .....	3
4.2 Evaluación del riesgo y marco de trabajo de la gestión del riesgo .....	3
4.3 Evaluación del riesgo y proceso de gestión del riesgo .....	4
5 Proceso de evaluación del riesgo .....	7
5.1 Presentación .....	7
5.2 Identificación del riesgo .....	8
5.3 Análisis del riesgo .....	9
5.4 Valoración del riesgo .....	12
5.5 Documentación .....	13
5.6 Monitoreo y revisión de la evaluación del riesgo .....	14
5.7 Aplicación de la evaluación del riesgo durante las fases del ciclo de vida .....	14
6 Selección de técnicas de evaluación del riesgo .....	15
6.1 Generalidades .....	15
6.2 Selección de técnicas .....	15
6.3 Disponibilidad de recursos .....	16
6.4 Naturaleza y grado de la incertidumbre .....	16
6.5 Complejidad .....	16
6.6 Aplicación de la evaluación del riesgo durante las fases del ciclo de vida .....	17
6.7 Tipos de técnicas de evaluación del riesgo .....	17
<b>Anexos</b>	
<b>Anexo A (informativo) Comparación de técnicas de evaluación del riesgo .....</b>	<b>18</b>
<b>Anexo B (informativo) Técnicas de evaluación del riesgo .....</b>	<b>26</b>
B.1 Tormenta de ideas .....	26
B.2 Entrevistas estructuradas o semiestructuradas .....	27
B.3 Técnica Delphi .....	29
B.4 Lista de verificación .....	30
B.5 Análisis preliminar de peligros (PHA) .....	31
B.6 HAZOP (Análisis de riesgos y de operatividad) .....	32
B.7 Análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP) .....	35
B.8 Evaluación de los riegos ambientales .....	37
B.9 Técnica estructurada “y si...” (SWIFT) .....	40
B.10 Análisis de escenario .....	42
B.11 Análisis de impacto en el negocio (BIA) .....	44
B.12 Análisis de la cauda raíz (RCA) .....	46
B.13 Análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) y Análisis de modos y efectos de fallas y de la criticidad (FMECA) .....	48
B.14 Análisis del árbol de fallas (FTA) .....	52
B.15 Análisis del árbol de eventos (ETA) .....	55
B.16 Análisis de causa-consecuencia .....	57
B.17 Análisis de causa y efecto .....	60

Contenido	Página
B.18 Análisis de capas de protección (LOPA) .....	63
B.19 Análisis del árbol de decisiones .....	66
B.20 Análisis de la fiabilidad humana (HRA) .....	67
B.21 Análisis bow tie .....	69
B.22 Mantenimiento centrado de la fiabilidad .....	71
B.23 Análisis de fugas (SA) y análisis del circuito de fugas (SCA) .....	73
B.24 Análisis Markov.....	75
B.25 Simulación de Monte Carlo .....	79
B.26 Estadística y redes Bayesianas .....	82
B.27 Curvas FN.....	86
B.28 Índices de riesgo.....	88
B.29 Matriz de consecuencia/probabilidad .....	90
B.30 Análisis de costo/beneficio (CBA) .....	93
B.31 Análisis de decisión multi-criterios (MCDA) .....	95
Anexo C (informativo) Bibliografía.....	98
Anexo D (informativo) Justificación de los cambios editoriales .....	100

# Gestión del riesgo - Técnicas de evaluación del riesgo

## Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

Esta norma se estudió a través del Comité Técnico *Gestión del riesgo*, para desarrollar una norma que soporte a la norma ISO 31000 *Gestión del riesgo - Principios y directrices*; y a la vez proporcione directrices para la selección y aplicación de técnicas sistemáticas para la evaluación del riesgo.

Esta norma es idéntica a la versión en inglés de la Norma Internacional ISO/IEC 31010:2009 *Risk management - Risk assessment techniques*.

La Nota Explicativa incluida en un recuadro en cláusula 2 y Anexo C, es un cambio editorial que se incluye con el propósito de informar la correspondencia con Norma Chilena de las Normas Internacionales citadas en esta norma.

Para los propósitos de esta norma, se han realizado los cambios editoriales que se indican y justifican en Anexo D.

Los Anexos A, B, C y D no forman parte de la norma, se insertan sólo a título informativo.

Si bien se ha tomado todo el cuidado razonable en la preparación y revisión de los documentos normativos producto de la presente comercialización, INN no garantiza que el contenido del documento es actualizado o exacto o que el documento será adecuado para los fines esperados por el Cliente.

En la medida permitida por la legislación aplicable, el INN no es responsable de ningún daño directo, indirecto, punitivo, incidental, especial, consecuencial o cualquier daño que surja o esté conectado con el uso o el uso indebido de este documento.

Esta norma ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 27 de marzo de 2013.



# Gestión del riesgo - Técnicas de evaluación del riesgo

## 0 Introducción

Organizaciones de todos los tipos y tamaños se enfrentan a una variedad de riesgos que pueden afectar al logro de los objetivos previstos.

Estos objetivos pueden estar relacionados con diferentes actividades de la organización, desde iniciativas estratégicas hasta sus operaciones, procesos y proyectos, y se reflejan en términos sociales, ambientales, tecnológicos, de seguridad y relacionados con la seguridad, comerciales, financieros y de medidas económicas, así como de impactos sociales, culturales, políticos y de reputación.

Todas las actividades de una organización implican riesgos que se deberían gestionar. El proceso de gestión del riesgo ayuda a tomar decisiones teniendo en cuenta la incertidumbre y la posibilidad de futuros eventos o circunstancias (previstas o imprevistas) y sus efectos sobre los objetivos acordados.

La gestión del riesgo incluye la aplicación de métodos lógicos y sistemáticos para:

- comunicar y consultar a lo largo de este proceso;
- establecer el contexto para la identificación, análisis, evaluación, tratamiento del riesgo asociado con cualquier actividad, proceso, función o producto;
- realizar seguimiento y revisar los objetivos;
- informar y registrar los resultados de manera apropiada.

La evaluación del riesgo es la parte de la gestión que proporciona un proceso estructurado que identifica la manera en que los objetivos pueden resultar afectados, y analiza el riesgo en términos de consecuencias y sus probabilidades antes de decidir si se necesita un tratamiento adicional.

La evaluación del riesgo trata de dar respuesta a las preguntas fundamentales siguientes:

- ¿qué puede suceder y por qué (para la identificación del riesgo)?
- ¿cuáles son las consecuencias?
- ¿cuál es la probabilidad de su ocurrencia futura?
- ¿existen factores que mitiguen las consecuencias del riesgo o que reduzcan la probabilidad del riesgo?

¿Es el nivel de riesgo tolerable o aceptable y requiere tratamiento adicional? Esta norma está prevista para reflejar las buenas prácticas actuales en la selección y utilización de las técnicas de evaluación del riesgo, y no se refiere a conceptos nuevos o desarrollados que no hayan alcanzado un nivel satisfactorio de consenso profesional.

Esta norma es de carácter general, por lo que puede proporcionar directrices a seguir por numerosas industrias y diferentes tipos de sistemas. En estas industrias pueden existir normas más específicas que establezcan metodologías y niveles de evaluación preferentes para aplicaciones particulares. Si tales normas están en armonía con esta norma, las normas específicas generalmente serán suficientes.

## 1 Alcance y campo de aplicación

Esta norma es una norma de soporte de ISO 31000, y proporciona directrices para la selección y aplicación de técnicas sistemáticas para la evaluación del riesgo.

La evaluación del riesgo realizada de acuerdo con esta norma contribuye a otras actividades de gestión del riesgo.

Se presenta la aplicación de una serie de técnicas, con referencias específicas a otras normas internacionales, donde el concepto y la aplicación de técnicas se describen con mayor detalle.

Esta norma no está prevista para fines de certificación, ni para usos reglamentarios o contractuales.

Esta norma no proporciona criterios específicos para identificar la necesidad de aplicar el análisis del riesgo, ni especifica el método de análisis del riesgo que se requiere para una aplicación particular.

Esta norma no hace referencia a todas las técnicas, y la omisión de una técnica en esta norma no significa que dicha técnica no sea válida. El hecho de que un método sea aplicable a una circunstancia particular no significa que éste se debería aplicar necesariamente.

**NOTA** Esta norma no trata la seguridad de una manera específica. Es una norma genérica para la gestión del riesgo y cualquier referencia a seguridad es simplemente de carácter informativo. La Guía ISO/IEC 51 proporciona directrices sobre la introducción de aspectos de seguridad en las normas IEC.

## 2 Referencias normativas

Los documentos siguientes son indispensables para la aplicación de esta norma. Para referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para referencias sin fecha se aplica la última edición del documento referenciado (incluyendo cualquier enmienda).

ISO Guide 73      *Risk management - Vocabulary.*  
 ISO 31000        *Risk management - Principles and guidelines.*

### NOTA EXPLICATIVA NACIONAL

La equivalencia de las Normas Internacionales señaladas anteriormente con Norma Chilena, y su grado de correspondencia es el siguiente:

Norma Internacional	Norma nacional	Grado de correspondencia
ISO Guide 73	NCh-ISO Guía 73:2012	La Norma Chilena NCh-ISO Guía 73:2012 es una adopción idéntica de la versión en inglés de la Norma Internacional ISO Guide 73:2009.
ISO 31000	NCh-ISO 31000:2012	La Norma Chilena NCh-ISO 31000:2012 es una adopción idéntica de la versión en inglés de la Norma Internacional ISO 31000:2009.

### 3 Términos y definiciones

Para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones incluidos en ISO Guía 73.

### 4 Conceptos de evaluación del riesgo

#### 4.1 Propósito y beneficios

La finalidad de la evaluación del riesgo consiste en proporcionar evidencias basadas en información y análisis para tomar decisiones informadas sobre cómo tratar riesgos particulares y cómo hacer la selección entre distintas opciones.

Entre los principales beneficios de realizar la evaluación del riesgo, se incluyen:

- comprender el riesgo y su impacto potencial sobre los objetivos;
- proporcionar información a quienes toman decisiones;
- contribuir a comprender los riesgos, para ayudar en la selección de las opciones de tratamiento;
- identificar los factores principales que contribuyen a los riesgos, y los puntos débiles en los sistemas y organizaciones;
- comparar los riesgos en sistemas, tecnologías o enfoques alternativos;
- comunicar los riesgos y las incertidumbres;
- ayudar a establecer prioridades;
- contribuir a la prevención de incidentes basados en investigaciones posteriores de incidentes;
- seleccionar diferentes formas de tratamiento del riesgo;
- cumplir los requisitos reglamentarios;
- proporcionar información que ayudará a evaluar si se debería aceptar el riesgo cuando se compara con criterios predefinidos;
- evaluar los riesgos unidos al final de la vida útil.

#### 4.2 Evaluación del riesgo y marco de trabajo de la gestión del riesgo

Esta norma asume que la evaluación del riesgo se realiza dentro del marco de trabajo y del proceso de gestión del riesgo descrito en ISO 31000.

El marco de trabajo de la gestión del riesgo proporciona las políticas, los procedimientos, y las disposiciones de la organización que permita la integración de la gestión del riesgo a través de todos los niveles de la organización.

Como parte de este marco de trabajo, la organización debe tener una política o estrategia para decidir cómo y cuándo se deben evaluar los riesgos.

En particular, quienes lleven a cabo las evaluaciones del riesgo deben tener en claro:

- el contexto y los objetivos de la organización;
- al alcance y los tipos de riesgo que son tolerables, y cómo se han de tratar los riesgos inaceptables;
- cómo se integra la evaluación del riesgo en los procesos de la organización;
- los métodos y las técnicas que se utilizan para la evaluación del riesgo, y su contribución al proceso de gestión del riesgo;
- el rendir cuentas, la responsabilidad y la autoridad para realizar la evaluación del riesgo;
- los recursos disponibles para realizar la evaluación del riesgo;
- cómo se informará y revisará la evaluación del riesgo.

## 4.3 Evaluación del riesgo y proceso de gestión del riesgo

### 4.3.1 Generalidades

La evaluación del riesgo comprende los elementos centrales del proceso de gestión del riesgo que se definen en ISO 31000, y contiene los siguientes elementos:

- comunicación y la consulta;
- establecimiento del contexto;
- evaluación del riesgo (que comprende la identificación del riesgo, el análisis del riesgo y la valoración del riesgo);
- tratamiento del riesgo;
- monitoreo y revisión.

La evaluación del riesgo no es una actividad aislada, y debe estar totalmente integrada con los otros componentes del proceso de gestión del riesgo.

### 4.3.2 Comunicación y consultas

El éxito de la evaluación del riesgo depende del establecimiento de comunicaciones y consultas eficaces con las partes interesadas.

Las partes interesadas involucradas en el proceso de gestión del riesgo ayudarán a:

- desarrollar un plan de comunicación;
- definir el contexto de manera apropiada;
- asegurar que los intereses de las partes interesadas se comprenden y se tienen en consideración;
- reunir las diferentes áreas de conocimiento técnico para la identificación y el análisis del riesgo;
- asegurar que las diferentes opiniones se tienen en cuenta de forma adecuada en la valoración de los riesgos;
- asegurar que los riesgos se identifican adecuadamente;
- obtener la aprobación y el soporte para un plan de tratamiento.

Las partes interesadas deben contribuir a establecer la conexión del proceso de evaluación del riesgo con otras disciplinas de gestión, incluidas la gestión de cambios, la gestión de proyectos y programas, y también la gestión financiera.

#### 4.3.3 Establecimiento del contexto

El establecimiento del contexto define los parámetros básicos para gestionar el riesgo y establece el alcance y los criterios para el resto del proceso. El establecimiento del contexto incluye la consideración de los parámetros internos y externos pertinentes a la organización considerada en su totalidad, así como los antecedentes de los riesgos particulares sobre los que se realiza la evaluación.

En el establecimiento del contexto, se determinan y acuerdan los objetivos de la evaluación del riesgo, los criterios de riesgo, y el programa de evaluación del riesgo.

Para una evaluación del riesgo específica, en el establecimiento del contexto se debe incluir la definición del contexto de la gestión externa, interna y del riesgo, y la clasificación de los criterios de riesgo:

- a) El establecimiento del contexto externo involucra la familiarización con el entorno en el cual la organización y el sistema funcionan, incluyendo:
  - los factores del entorno cultural, político, legal, reglamentario, financiero, económico y competitivo, ya sea a nivel internacional, nacional, regional o local;
  - los factores y tendencias clave que tengan impacto en los objetivos de la organización; y
  - las percepciones y los valores de las partes interesadas externas.
- b) El establecimiento del contexto interno involucra la comprensión de:
  - las capacidades de la organización en términos de recursos y conocimiento;
  - los flujos de información y los procesos de toma de decisiones;
  - las partes interesadas internas;
  - los objetivos y las estrategias a seguir para lograrlos;
  - las percepciones, los valores y la cultura;
  - las políticas y los procesos;
  - las normas y los modelos de referencia adoptados por la organización; y
  - las estructuras (por ejemplo, la gobernanza, las funciones y las obligaciones de rendir cuentas).
- c) El establecimiento del contexto del proceso de gestión del riesgo incluye:
  - definir las rendiciones de cuenta y responsabilidades;
  - definir el alcance de las actividades de la gestión del riesgo a realizar, incorporando inclusiones y exclusiones específicas;
  - definir la extensión del proyecto, proceso, función o actividad, en términos de tiempo y de ubicación;

- definir las relaciones entre un proyecto o actividad particular y otros proyectos o actividades de la organización;
  - definir las metodologías de evaluación del riesgo;
  - definir los criterios de riesgo;
  - definir cómo evaluar el desempeño de la gestión del riesgo;
  - identificar y especificar las decisiones y acciones que tienen que ser tomadas; e
  - identificar los estudios de alcance o de ámbitos necesarios, su extensión, objetivos, y los recursos necesarios para tales estudios.
- d) La definición de los criterios de riesgo involucra decidir:
- la naturaleza y los tipos de consecuencias a incluir y como medirlas;
  - la manera de expresar la probabilidad;
  - cómo determinar el nivel del riesgo;
  - los criterios para decidir cuándo un riesgo necesita tratamiento;
  - los criterios para decidir cuándo un riesgo es aceptable y/o tolerable;
  - si y cómo se tendrán en cuenta las combinaciones de riesgos.

Los criterios se pueden basar en fuentes tales como:

- los objetivos de proceso acordados;
- los criterios identificados en las especificaciones;
- las fuentes de datos generales;
- los criterios de la industria aceptados normalmente, tales como los niveles de seguridad integral;
- el apetito de riesgo de la organización;
- los requisitos legales y de otro tipo para equipamiento o aplicaciones específicos.

#### 4.3.4 Evaluación del riesgo

La evaluación del riesgo es el proceso global de identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo.

Los riesgos se pueden evaluar a nivel de la organización, a nivel de un departamento, por proyectos, por actividades individuales o por riesgos específicos. En contextos diferentes puede ser apropiado aplicar herramientas y técnicas diferentes.

La evaluación del riesgo proporciona un conocimiento de los riesgos, sus causas, consecuencias y sus probabilidades. Esto proporciona datos de entrada para tomar decisiones acerca de:

- si se debería realizar una actividad;
- cómo maximizar las oportunidades;
- si los riesgos necesitan tratarse;

- la elección entre opciones con riesgos diferentes;
- la asignación de prioridades a las opciones de tratamiento del riesgo;
- la selección más apropiada de las estrategias de tratamiento del riesgo que llevarán a los riesgos adversos hasta un nivel tolerable.

#### **4.3.5 Tratamiento del riesgo**

Una vez completada la evaluación del riesgo, el tratamiento del riesgo involucra la selección y el acuerdo para aplicar una o varias opciones pertinentes para cambiar la probabilidad de que los riesgos ocurran, los efectos de los riesgos, o ambas, y la implementación de estas opciones.

A continuación de esto, sigue un proceso crítico de reevaluación del nuevo nivel de riesgo, con la intención de determinar su tolerancia con respecto a los criterios previamente establecidos, para decidir si se requiere tratamiento adicional.

#### **4.3.6 Monitoreo y revisión**

Como parte del proceso de gestión del riesgo, los riesgos y los controles se deben monitorear y revisar de manera regular, con objeto de verificar que:

- las hipótesis establecidas en relación con los riesgos continúan siendo válidas;
- las hipótesis en que se ha basado la evaluación del riesgo, incluyendo los contextos externo e interno, continúan siendo válidas;
- se han logrado los resultados previstos;
- los resultados de la evaluación del riesgo están en línea con la experiencia real;
- las técnicas de evaluación del riesgo se han aplicado adecuadamente;
- los tratamientos del riesgo son eficaces.

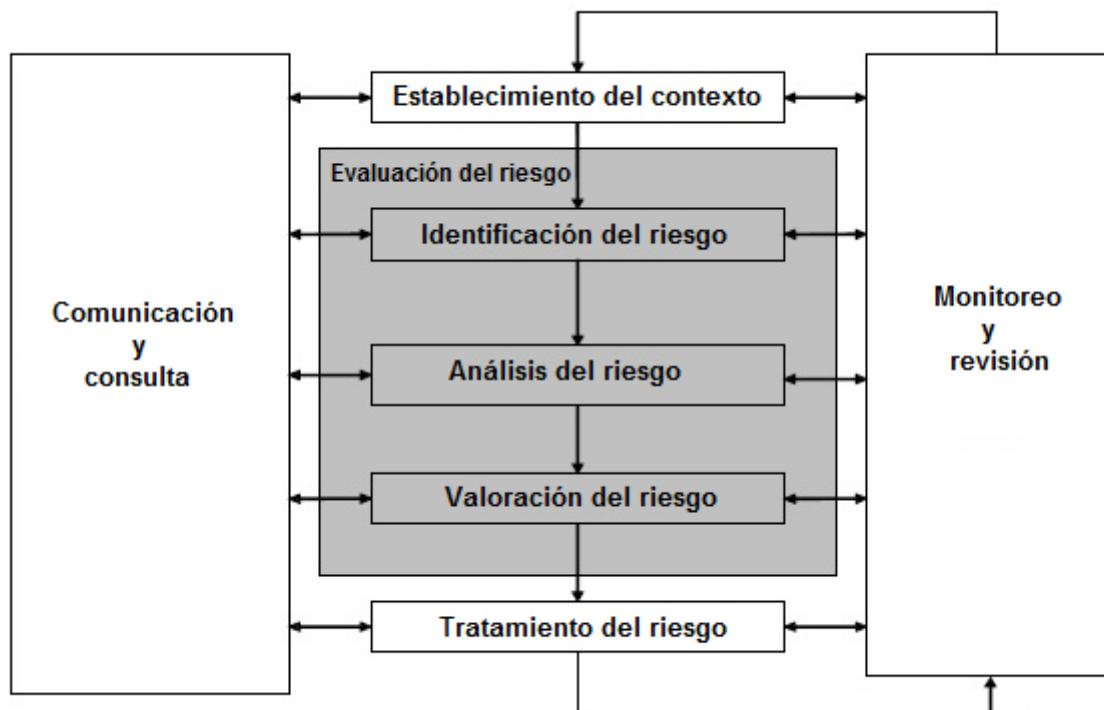
Se deberían establecer las responsabilidades para el monitoreo y para la realización de las revisiones.

### **5 Proceso de evaluación del riesgo**

#### **5.1 Presentación**

La evaluación del riesgo proporciona a quienes toman decisiones y a las partes responsables una mejor comprensión de los riesgos que podrían afectar al logro de los objetivos, y a la idoneidad y eficacia de los controles ya establecidos. Esto proporciona una base para tomar decisiones sobre el enfoque más apropiado que se debe utilizar para tratar los riesgos. Los resultados de la evaluación del riesgo constituyen datos de entrada para el proceso de toma de decisiones de la organización.

La evaluación del riesgo es el proceso global de identificación del riesgo, análisis del riesgo y de valoración del riesgo (ver Figura 1). La manera de aplicar este proceso no sólo depende del contexto del proceso de gestión del riesgo, sino también de los métodos y técnicas utilizadas para realizar la evaluación del riesgo.



IEC 2061/09

**Figura 1 - Contribución de la evaluación del riesgo al proceso de gestión del riesgo**

La evaluación del riesgo puede requerir un enfoque multidisciplinario dado que los riesgos pueden cubrir una amplia gama de causas y consecuencias.

## 5.2 Identificación del riesgo

La identificación del riesgo es el proceso con el que se descubren, reconocen y registran los riesgos.

El propósito de la identificación del riesgo es identificar qué puede pasar o qué situaciones se pueden presentar que pueden afectar el logro de los objetivos del sistema o de la organización. Una vez que el riesgo está identificado, la organización debe identificar cualquiera de los controles existentes, tales como características de diseño, personas, procesos y sistemas.

El proceso de identificación del riesgo incluye la identificación de las causas y del origen del riesgo (peligro en el contexto de los daños físicos), eventos, situaciones o circunstancias que podrían tener un impacto material sobre los objetivos y la naturaleza del impacto.

Los métodos de identificación del riesgo pueden incluir:

- los métodos basados en evidencias, ejemplos de esto son las listas de verificación y las revisiones de datos históricos;
- los enfoques sistemáticos del equipo, donde un grupo de expertos sigue un proceso sistemático para identificar riesgos por medio de un conjunto estructurado de proposiciones o preguntas;
- las técnicas de razonamiento inductivo, tal como HAZOP.

Para mejorar la precisión y la exhaustividad de la identificación del riesgo se pueden aplicar diversas técnicas de soporte, incluidas tormenta de ideas y la metodología Delphi.

Con independencia de las técnicas actuales empleadas, cuando se identifica el riesgo es importante dar el debido reconocimiento a los factores humanos y de la organización. Por ello, en el proceso de identificación del riesgo se deben incluir las desviaciones de los factores humanos y de la organización con respecto a lo esperado, así como los eventos de "hardware" o de "software".

## 5.3 Análisis del riesgo

### 5.3.1 Generalidades

El análisis del riesgo consiste en desarrollar una comprensión del riesgo. Proporciona un elemento de entrada para la evaluación del riesgo y para tomar decisiones acerca de si es necesario tratar los riesgos, y de las estrategias y los métodos de tratamiento del riesgo más apropiados.

El análisis del riesgo consiste en determinar las consecuencias y sus probabilidades para eventos de riesgo identificados, teniendo en cuenta la presencia (o no) y la eficacia de todos los controles existentes. Las consecuencias y sus probabilidades se combinan después para determinar un nivel de riesgo.

El análisis del riesgo involucra la consideración de las causas y las fuentes del riesgo, sus consecuencias, y la probabilidad de que estas consecuencias puedan ocurrir. Se deben identificar los factores que afectan a las consecuencias y a la probabilidad. Un evento puede tener múltiples consecuencias y puede afectar a múltiples objetivos. Se deben tener en cuenta los controles de riesgo existentes y la eficacia de los mismos. En Anexo B se describen varios métodos para la realización de estos análisis. Para aplicaciones complejas se puede requerir más de una técnica.

El análisis del riesgo incluye normalmente una estimación de la gama de posibles consecuencias que pueden derivar de un evento, situación, o circunstancia, y de sus probabilidades asociadas, a fin de medir el nivel de riesgo. No obstante, en algunas circunstancias, tales como cuando es probable que las consecuencias sean insignificantes o se espera que la probabilidad sea extremadamente baja, se estima que un solo parámetro puede ser suficiente para tomar una decisión.

En algunas circunstancias se puede producir una consecuencia como resultado de una gama de eventos o condiciones diferentes, o cuando el evento específico no está identificado. En este caso, el centro de atención de la evaluación del riesgo está en analizar la importancia y vulnerabilidad de los componentes del sistema, con la intención de definir los tratamientos con respecto a los niveles de protección o a las estrategias de recuperación.

Los métodos que se utilizan en el análisis de riesgos pueden ser cualitativos, semicuantitativos, o cuantitativos. El grado de detalle requerido dependerá de la aplicación particular, de la disponibilidad de datos fiables y de las necesidades de toma de decisiones de la organización. Algunos métodos y el grado de detalle del análisis pueden estar establecidos por la legislación.

La evaluación cualitativa define las consecuencias, la probabilidad y el nivel de riesgo, indicando niveles tales como *alto*, *medio* y *bajo*, y puede combinar las consecuencias y la probabilidad y evaluar el nivel de riesgo resultante en función de criterios cualitativos.

Los métodos semicuantitativos utilizan escalas de evaluación numéricas para las consecuencias y la probabilidad, y las combinan para determinar un nivel de riesgo aplicando una fórmula. Las escalas pueden ser lineales o logarítmicas, o tener alguna otra relación; las fórmulas utilizadas también pueden variar.

El análisis cuantitativo estima valores realistas para las consecuencias y sus probabilidades, y obtiene valores del nivel de riesgo en unidades específicas definidas cuando se desarrolla el contexto. El análisis cuantitativo completo no siempre puede ser posible o deseable debido a información insuficiente acerca del sistema o actividad que se está analizando, a la falta de datos, a la influencia de factores humanos, etc., o porque no se requiere o no está garantizado el resultado del análisis cuantitativo. En estas circunstancias, aún puede ser efectiva una clasificación semicuantitativa o cualitativa de los riesgos realizada por especialistas conocedores de sus respectivos campos de actuación.

En los casos en que el análisis sea cualitativo, se debe explicar con claridad todos los términos empleados, y se deben registrar las bases establecidas para todos los criterios.

Incluso cuando se haya realizado la cuantificación total, es necesario reconocer que todos los niveles de riesgo calculados son estimativos. Se debe tener cuidado en confirmar que a estos niveles de riesgo no se atribuye un nivel de exactitud y precisión que sea contradictorio con la precisión de los datos y métodos empleados.

Los niveles de riesgo se deben expresar en los términos más adecuados para el tipo de riesgo en cuestión, y de una manera que ayude a la evaluación del riesgo. En algunos casos, la magnitud de un riesgo se puede expresar como una distribución de probabilidad sobre una gama de consecuencias.

### 5.3.2 Evaluación de los controles

El nivel del riesgo dependerá de la idoneidad y eficacia de los controles existentes. Las cuestiones a considerar incluyen:

- ¿cuáles son los controles existentes para un riesgo particular?
- ¿son capaces estos controles de tratar adecuadamente el riesgo, de manera que quede controlado hasta un nivel que se considere tolerable?
- ¿en la práctica, funcionan los controles de la manera prevista y pueden demostrar que son eficaces cuando se requiere la aplicación de los mismos?

Estas preguntas solamente se pueden contestar con certeza si existe la documentación adecuada y se implantan procesos de garantía en el lugar.

El nivel de eficacia de un control particular, o de una serie de controles relacionados, se puede expresar de forma cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa. En la mayoría de los casos, no se garantiza un alto nivel de exactitud. No obstante, puede ser valioso expresar y registrar una medida de la eficacia del control del riesgo, con objeto de poder juzgar si sería mejor emplear el esfuerzo en mejorar ese control o en disponer de un tratamiento diferente del riesgo.

### 5.3.3 Análisis de las consecuencias

El análisis de las consecuencias determina la naturaleza y el tipo de impacto que podría ocurrir asumiendo que se ha generado un evento, situación o circunstancia particulares. Un evento puede dar lugar a una gama de impactos de diferentes magnitudes, y afectar a una gama de diferentes objetivos y diferentes partes interesadas. Los tipos de consecuencias a analizar y las partes interesadas afectadas se han tenido que decidir cuándo se estableció el contexto.

El análisis de las consecuencias puede variar desde una descripción simple de las consecuencias hasta un modelo cuantitativo detallado o un análisis de vulnerabilidad.

Los impactos pueden tener una consecuencia baja pero alta probabilidad, o una consecuencia alta y baja probabilidad, o alguna consecuencia intermedia. En algunos casos, es apropiado centrar la atención en riesgos que posiblemente tengan consecuencias muy importantes, dado que con frecuencia son los que conciernen en gran medida a la gerencia. En otros casos puede ser importante analizar por separado los riesgos de consecuencias altas y de consecuencias bajas. Por ejemplo, un problema frecuente pero de bajo impacto (o crónico) puede tener efectos grandes por acumulación o efectos a largo plazo. Además, las acciones de tratamiento de estos dos tipos distintos de riesgos son con frecuencia bastante diferentes, por lo que es útil analizarlos por separado.

El análisis de las consecuencias puede implicar:

- tener en consideración los controles existentes para tratar las consecuencias, junto con todos los factores que contribuyen de una manera importante y que tienen efecto sobre las consecuencias;
- relacionar las consecuencias del riesgo con los objetivos iniciales;
- tener en consideración tanto las consecuencias inmediatas como las que pueden aparecer después de que haya transcurrido un cierto tiempo, si esto es consecuente con el campo de aplicación de la evaluación;
- tener en consideración las consecuencias secundarias, tales como las que impactan sobre sistemas, actividades, equipos u organizaciones.

#### **5.3.4 Análisis y estimación de la probabilidad**

Para estimar la probabilidad se emplean normalmente tres enfoques generales; estos enfoques se pueden aplicar individualmente o en conjunto:

- a) La utilización de datos históricos importantes para identificar eventos o situaciones que han ocurrido en el pasado y que permiten extrapolar la probabilidad de que vuelvan a ocurrir en el futuro. Los datos utilizados deben ser aplicables al tipo de sistema, instalación, organización o actividad que se está considerando, y también a las normas de funcionamiento de la organización implicada. Si los datos históricos existentes muestran que la frecuencia de ocurrencia es muy baja, entonces cualquier estimación de probabilidad será muy incierta. Esto se aplica especialmente cuando la posibilidad de que ocurra es cero, cuando no se puede asumir que el evento, situación o circunstancia no ocurrirá en el futuro.
- b) Los pronósticos de probabilidad utilizan técnicas de predicción tales como el análisis del árbol de fallas y el análisis del árbol de eventos (ver Anexo B). Cuando los datos históricos no están disponibles o no son adecuados, es necesario obtener la probabilidad mediante el análisis del sistema, actividad, equipo u organización y sus estados asociados de falla o de éxito. Los datos numéricos sobre el equipo, las personas, las organizaciones y los sistemas, obtenidos de la experiencia operacional, o de fuentes de datos publicados, se combinan después para obtener una estimación de la probabilidad superior del evento. Cuando se utilizan técnicas de predicción, es importante comprobar que en el análisis se han introducido las tolerancias oportunas con respecto a la posibilidad de fallas comunes que impliquen la falla coincidente de un determinado número de partes o componentes diferentes dentro del sistema que se originan por la misma causa. Se pueden requerir técnicas de simulación para generar la probabilidad de fallas del equipo y estructura debido al envejecimiento y a otros procesos de degradación, mediante el cálculo de los efectos de las incertidumbres.
- c) Para estimar la probabilidad en los procesos sistemáticos y estructurados, se puede utilizar la opinión de un experto. Los juicios de expertos deben aportar toda la información aplicable disponible, incluyendo datos históricos, datos específicos del sistema, datos específicos de la organización, datos experimentales, datos de diseño, etc. Existe un determinado número de métodos formales para lograr juicios de expertos que proporcionen una ayuda para formular las preguntas apropiadas. Los métodos disponibles incluyen el enfoque Delphi, las comparaciones pareadas, la clasificación en categorías y los dictámenes de probabilidad absoluta.

#### **5.3.5 Análisis preliminar**

Los riesgos se pueden filtrar con objeto de identificar los más importantes, o para excluir los riesgos menos significativos o menores de los análisis posteriores. La finalidad de esto es asegurar que los recursos se dirigirán a los riesgos más importantes. Se debe tener cuidado en no eliminar riesgos bajos que ocurrían frecuentemente y que tengan un efecto acumulado importante.

El filtrado se debe basar en criterios definidos en el contexto. El análisis preliminar determina una o varias de las siguientes vías de acción:

- decidir el tratamiento de los riesgos sin ninguna evaluación adicional;
- establecer los riesgos insignificantes que no justificarían un tratamiento;
- proceder a realizar una evaluación del riesgo más detallada.

Se deben documentar las hipótesis y los resultados.

### 5.3.6 Incertidumbres y sensibilidades

Con frecuencia existe un considerable número de incertidumbres asociadas con el análisis del riesgo. Para interpretar y comunicar el análisis del riesgo de una manera eficaz es necesario tener un conocimiento adecuado de las incertidumbres. El análisis de las incertidumbres asociadas con los datos, métodos y modelos utilizados para identificar y analizar el riesgo juega un papel muy importante en su aplicación. El análisis de la incertidumbre implica la determinación de la variación o imprecisión en los resultados, originada por la variación colectiva de los parámetros e hipótesis que se han utilizado para definir los resultados. Un área muy relacionada con el análisis de la incertidumbre es el análisis de sensibilidad.

El análisis de sensibilidad implica la determinación del tamaño y la importancia de la magnitud de riesgo a cambios en parámetros de entrada individuales. Este análisis de sensibilidad se utiliza para identificar aquellos datos que se necesita que sean precisos, y los datos que son menos sensibles y por tanto tienen menos efecto sobre la exactitud en general.

Se debe declarar de la forma más completa posible la exhaustividad y la exactitud del análisis de riesgo. Cuando sea posible, se deben identificar los orígenes de incertidumbre y consignar las incertidumbres de los datos y del modelo/método. Se deben consignar los parámetros para los cuales el análisis es sensible y el grado de sensibilidad.

## 5.4 Valoración del riesgo

La valoración del riesgo implica la comparación de niveles estimados de riesgo con los criterios de riesgo definidos cuando se estableció el contexto, con objeto de determinar la importancia del nivel y tipo de riesgo.

En la valoración del riesgo se aplica el conocimiento del riesgo obtenido durante el análisis del riesgo, para tomar decisiones sobre acciones futuras. Las consideraciones éticas, legales, financieras y de otros tipos, incluidas las percepciones de riesgo, también son factores de entrada para la toma de decisiones.

Las decisiones pueden incluir:

- si se necesita tratar el riesgo;
- las prioridades de tratamiento;
- si se debe emprender una actividad;
- el camino que se debe seguir.

La naturaleza de las decisiones que se deben tomar y los criterios que se utilizarán para tomar aquellas decisiones fueron acordados al establecer el contexto, pero en esta etapa es necesario revisarlos con mayor detalle, ya que se sabe más sobre los riesgos particulares identificados.

El marco de trabajo más simple para definir los criterios de riesgo es un sólo nivel que separe los riesgos que necesitan tratamiento de los que no. Esto proporciona unos resultados aparentemente simples pero que no reflejan las incertidumbres implicadas tanto en la estimación de riesgos como en la definición de los límites entre los que necesitan tratamiento y los que no lo necesitan.

La decisión sobre si se debe tratar el riesgo y de cómo tratarlo, puede depender de los costos y de los beneficios de aceptar el riesgo y de los costos y beneficios de implementar controles mejorados.

Un enfoque común consiste en dividir los riesgos en tres bandas:

- a) una banda superior, donde el nivel de riesgo se considera intolerable, cualesquiera que sean los beneficios que la actividad puede proporcionar, y donde el tratamiento del riesgo es esencial cualquiera que sea su costo;
- b) una banda media (o zona *gris*), donde los costos y los beneficios se tienen en cuenta y las oportunidades se compensan con respecto a las consecuencias potenciales;
- c) una banda inferior, donde el nivel de riesgo se considera insignificante o tan pequeño que no es necesario tomar medidas para el tratamiento del riesgo.

El sistema de criterio *tan bajo como razonablemente sea posible* o ALARP que se utiliza en aplicaciones de seguridad, también se sigue en este enfoque, donde, en la banda media existe una escala gradual para riesgos bajos donde los costos y los beneficios se pueden comparar directamente, mientras que para riesgos altos se debe reducir el potencial de perjuicios hasta que los costos de una reducción adicional sean totalmente desproporcionados con respecto a los beneficios de seguridad obtenidos.

## 5.5 Documentación

El proceso de evaluación del riesgo se debe documentar junto con los resultados de la evaluación. Los riesgos se deben expresar en términos inteligibles, y las unidades en que se expresa el nivel de riesgo deben ser claras.

La extensión del informe dependerá de los objetivos y del campo de aplicación de la evaluación. Excepto para evaluaciones muy simples, la documentación puede incluir lo siguiente:

- los objetivos y el campo de aplicación;
- la descripción de las partes pertinentes del sistema y sus funciones;
- un resumen del contexto externo e interno de la organización, y de cómo se relaciona con la situación, sistema o circunstancias que se están evaluando;
- los criterios de riesgo aplicados y la justificación de los mismos;
- las limitaciones, los supuestos y la justificación de las hipótesis;
- la metodología aplicada en la evaluación;
- los resultados de la identificación del riesgo;
- los datos, los supuestos y sus orígenes y validación;
- los resultados del análisis del riesgo y la evaluación de los mismos;
- los análisis de sensibilidad y de incertidumbre;
- los supuestos críticos y otros factores sobre los que se necesita hacer monitoreo;
- la discusión de los resultados;
- las conclusiones y recomendaciones;
- las referencias.

Si la evaluación del riesgo sirve de apoyo al proceso continuo de gestión del riesgo, dicha evaluación se debe realizar y documentar de manera que se pueda mantener durante todo el ciclo de vida del sistema, de la organización, del equipo o de la actividad. La evaluación se debe actualizar cuando se disponga de nueva información significativa y de cambios en el contexto, de acuerdo con las necesidades del proceso de gestión.

## 5.6 Monitoreo y revisión de la evaluación del riesgo

El proceso de evaluación del riesgo dará importancia al contexto y a otros factores de los que se espera que pudiesen variar con el tiempo y, por tanto, cambiar o invalidar la evaluación del riesgo. Estos factores se deben identificar específicamente para que sean objeto de monitoreo y revisión, de manera que la evaluación del riesgo se pueda actualizar cuando sea necesario.

También se deben identificar y recopilar los datos de los que se ha hecho monitoreo con objeto de mejorar la evaluación del riesgo.

También se debe hacer monitoreo y documentar la eficacia de los controles con objeto de disponer de datos para su uso en el análisis del riesgo. Se deben definir las responsabilidades para la creación y la revisión de la evidencia y la documentación.

## 5.7 Aplicación de la evaluación del riesgo durante las fases del ciclo de vida

Se puede considerar que muchas actividades, proyectos y productos tienen un ciclo de vida que comienza a partir del concepto y la definición iniciales y continúa con su realización hasta que se lleva a cabo su terminación final, que puede incluir la retirada de servicio y la eliminación del material.

La evaluación del riesgo se puede aplicar en todas las etapas del ciclo de vida, y normalmente se aplica muchas veces con diferentes niveles de detalle para ayudar en la toma de decisiones en cada fase.

Las fases del ciclo de vida tienen requisitos diferentes y necesitan técnicas diferentes. Por ejemplo, durante la fase de concepto y definición, cuando se identifica una oportunidad, la evaluación del riesgo se puede utilizar para decidir si se procede o no.

Cuando existen varias opciones disponibles, la evaluación del riesgo se puede utilizar en la evaluación de conceptos alternativos para ayudar a decidir cuál de ellos proporciona el mejor balance entre los riesgos positivos y negativos.

Durante la fase de diseño y desarrollo, la evaluación del riesgo contribuye a:

- asegurar que los riesgos del sistema son tolerables;
- el proceso de mejora del diseño;
- los estudios de eficacia de los costos;
- la identificación de los riesgos que impactan en las fases siguientes del ciclo de vida.

A medida que avanza la actividad, la evaluación del riesgo se puede utilizar para proporcionar información que ayude a desarrollar procedimientos para condiciones normales y de emergencia.

## 6 Selección de técnicas de evaluación del riesgo

### 6.1 Generalidades

Este capítulo describe cómo se pueden seleccionar técnicas para la evaluación del riesgo. Los Anexos listan y describen una gama de herramientas y técnicas que se pueden utilizar para realizar una evaluación del riesgo o para ayudar en el proceso de evaluación del riesgo. Algunas veces puede ser necesario emplear más de un método de evaluación.

### 6.2 Selección de técnicas

La evaluación del riesgo se puede realizar con diferentes grados de profundidad y de detalle, y utilizando uno o varios métodos que varían desde simples a complejos. La forma de la evaluación y de sus resultados debe ser consecuente con los criterios de riesgo desarrollados como parte del establecimiento del contexto. El Anexo A muestra la relación conceptual entre las amplias categorías de técnicas de evaluación del riesgo y los factores presentes en una situación de riesgo dada, y proporciona ejemplos ilustrativos de cómo las organizaciones pueden seleccionar las técnicas apropiadas de evaluación del riesgo para una situación particular.

En términos generales, las técnicas adecuadas deben tener las características siguientes:

- deben ser justificables y apropiadas a la situación u organización que se está considerando;
- debe proporcionar resultados de una forma que mejoren la comprensión de la naturaleza del riesgo y de cómo se puede tratar;
- se deben poder utilizar de una manera que sea trazable, reproducible y verificable.

Se deben dar las razones para la elección de técnicas, en cuanto a la importancia y a la idoneidad. Cuando se integran los resultados procedentes de estudios diferentes, las técnicas utilizadas y los resultados deben ser comparables.

Una vez que se ha tomado la decisión de realizar una evaluación del riesgo, y se han definido los objetivos y el campo de aplicación, las técnicas se deben seleccionar en base a factores aplicables tales como:

- los objetivos del estudio. Los objetivos de la evaluación del riesgo tendrán una repercusión directa sobre las técnicas utilizadas. Por ejemplo, si se está realizando un estudio comparativo entre diferentes opciones, puede ser aceptable utilizar modelos de consecuencias menos detalladas para partes del sistema que no se vean afectadas por las diferencias;
- las necesidades de las personas que han de tomar decisiones. En algunos casos se necesita un alto nivel de detalle para tomar una buena decisión, mientras que en otros es suficiente una comprensión más general;
- el tipo y la gama de riesgos que se analizan;
- la posible magnitud de las consecuencias. La decisión sobre la profundidad con que se ha de realizar la evaluación del riesgo debe reflejar la percepción inicial de las consecuencias (aunque es posible que se tenga que modificar una vez que se haya completado la evaluación preliminar);
- el grado de conocimientos técnicos, y de recursos humanos y de otros tipos que se necesitan. Un método sencillo, bien aplicado, puede proporcionar mejores resultados que un procedimiento más sofisticado pero aplicado deficientemente, en la medida en que cumpla los objetivos y campo de aplicación de la evaluación del riesgo. Por lo general, el esfuerzo que se ponga en la evaluación debe ser consecuente con el nivel potencial del riesgo que se está analizando;

- la disponibilidad de información y de datos. Algunas técnicas requieren más información y datos que otras;
- la necesidad de modificación/actualización de la evaluación del riesgo. En un futuro puede ser necesario modificar/actualizar la evaluación del riesgo, y a este respecto, algunas técnicas son más fáciles de modificar que otras;
- cualquier requisito contractual y reglamentario.

En la selección de un enfoque para la evaluación del riesgo influyen diversos factores, tales como la disponibilidad de recursos, la naturaleza y el grado de incertidumbre de los datos y de la información disponibles, y la complejidad de la aplicación (ver Tabla A.2).

### 6.3 Disponibilidad de recursos

Los recursos y las capacidades que pueden afectar a la elección de técnicas de evaluación del riesgo, incluyen:

- la capacidad y aptitud en cuanto a experiencia profesional del equipo de personas que ha de realizar la evaluación del riesgo;
- las limitaciones en tiempo y en otros recursos dentro de la organización;
- el presupuesto disponible si se requieren recursos externos.

### 6.4 Naturaleza y grado de la incertidumbre

La naturaleza y el grado de la incertidumbre requieren una correcta comprensión de la calidad, cantidad e integridad de la información disponible relativa al riesgo que se está considerando. Esto incluye la amplitud de la información disponible sobre el riesgo, sus orígenes y sus causas, así como sus consecuencias para el logro de los objetivos. La incertidumbre se puede deber a la deficiente calidad de los datos o a la falta de datos esenciales y fiables. Por ejemplo, los métodos de recopilación de datos pueden cambiar, la forma en que las organizaciones aplican tales métodos puede cambiar, o las organizaciones pueden utilizar un método de recopilación de datos que no sea eficaz o que los datos recopilados no correspondan al riesgo identificado.

La incertidumbre también puede ser inherente al contexto externo e interno de la organización. Los datos disponibles no siempre proporcionan una base fiable para la predicción del futuro. Para tipos de riesgos únicos, es posible que los datos históricos no estén disponibles o las distintas partes interesadas puedan tener diferentes interpretaciones de los datos disponibles. La evaluación del riesgo llevada a cabo debe comprender el tipo y la naturaleza de la incertidumbre y valorar las implicancias de la confiabilidad de los resultados de la evaluación del riesgo. Estos resultados se deben comunicar siempre a las personas que han de tomar decisiones.

### 6.5 Complejidad

Los riesgos pueden ser complejos por sí mismos, como por ejemplo, en sistemas complejos donde se necesita disponer de la evaluación del riesgo en todo el sistema, en vez de tratar cada componente por separado e ignorando las interacciones. En otros casos, el tratamiento de un riesgo único puede tener implicancias por sí mismo y puede impactar en otras actividades. Los impactos resultantes y las dependencias del riesgo deben ser comprendidos para asegurar que la gestión de un riesgo, no crea por sí misma una situación intolerable. La comprensión de la complejidad de un riesgo único o de un conjunto de riesgos de una organización es crucial para la selección del método o de las técnicas apropiadas para la evaluación del riesgo.

## 6.6 Aplicación de la evaluación del riesgo durante las fases del ciclo de vida

Se puede considerar que muchas actividades, proyectos y productos tienen un ciclo de vida que comienza a partir del concepto y la definición iniciales y continúa con su realización hasta que se lleva a cabo su finalización, que podría incluir el desmontaje y retiro del hardware.

La evaluación del riesgo se puede aplicar en todas las etapas del ciclo de vida, y normalmente se aplica muchas veces con diferentes niveles de detalle para ayudar en la toma de decisiones en cada fase.

Las fases del ciclo de vida tienen requisitos diferentes y necesitan técnicas diferentes. Por ejemplo, durante la fase de concepto y definición, cuando se identifica una oportunidad, la evaluación del riesgo se puede utilizar para decidir si se procede o no.

Cuando existen varias opciones disponibles, la evaluación del riesgo se puede utilizar en la evaluación de conceptos alternativos para ayudar a decidir cuál de ellos proporciona el mejor balance de los riesgos.

Durante la fase de diseño y desarrollo, la evaluación del riesgo contribuye a:

- asegurar que los riesgos del sistema son tolerables;
- el proceso de mejora del diseño;
- los estudios de eficacia de los costos;
- la identificación de los riesgos que impactan en las fases siguientes del ciclo de vida.

A medida que avanza la actividad, la evaluación del riesgo se puede utilizar para proporcionar información que ayude a desarrollar procedimientos para condiciones normales y de emergencia.

## 6.7 Tipos de técnicas de evaluación del riesgo

Las técnicas de evaluación del riesgo se pueden clasificar de varias maneras para ayudar a comprender sus cualidades relativas de solidez y debilidad. Para efectos ilustrativos las Tablas de Anexo A relacionan algunas técnicas posibles y sus categorías.

Cada una de las técnicas se desarrolla más en detalle en Anexo B según la naturaleza de la evaluación que proporcionan, y se dan directrices para su aplicabilidad para determinadas situaciones.

## Anexo A (informativo)

### Comparación de técnicas de evaluación del riesgo

#### A.1 Tipos de técnicas

La primera clasificación muestra cómo se aplican las técnicas en cada etapa del proceso de evaluación del riesgo, como sigue:

- identificación del riesgo;
- análisis del riesgo - análisis de las consecuencias;
- análisis del riesgo - estimación de la probabilidad cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa;
- análisis del riesgo - evaluación de la eficacia de todos los controles existentes;
- análisis del riesgo - estimación del nivel de riesgo;
- valoración del riesgo.

Para cada etapa del proceso de evaluación del riesgo, la aplicación del método se describe como muy aplicable, aplicable o no aplicable (ver Tabla A.1).

#### A.2 Factores que influyen en la selección de las técnicas de evaluación del riesgo

A continuación se describen los atributos de los métodos, en función de:

- la complejidad del problema y de los métodos que se necesitan para analizarlo;
- la naturaleza y el grado de incertidumbre de la evaluación del riesgo, basados en la cantidad de información disponible y que se requiere para satisfacer los objetivos;
- la amplitud de los recursos requeridos en función del tiempo y del nivel de conocimientos técnicos, de las necesidades de datos o de los costos;
- si el método puede proporcionar un resultado cuantitativo.

En Tabla A.2 aparecen ejemplos de tipos de métodos de evaluación del riesgo disponibles, donde cada método se clasifica como alto, medio, o bajo en función de estos atributos.

**Tabla A.1 - Aplicabilidad de las herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo**

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo					Ver	
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Valoración del riesgo		
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo			
Tormenta de ideas	MA <sup>1)</sup>	NA <sup>2)</sup>	NA	NA	NA	B.1	
Entrevistas estructuradas o semiestructuradas	MA	NA	NA	NA	NA	B.2	
Delphi	MA	NA	NA	NA	NA	B.3	
Listas de verificación	MA	NA	NA	NA	NA	B.4	
Análisis preliminar de peligros	MA	NA	NA	NA	NA	B.5	
Estudios de peligros y de operatividad (HAZOP)	MA	MA	A <sup>3)</sup>	A	A	B.6	
Análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP)	MA	MA	NA	NA	MA	B.7	
Evaluación de riesgos ambientales	MA	MA	MA	MA	MA	B.8	
Estructura “¿y si ...?” (SWIFT)	MA	MA	MA	MA	MA	B.9	
Análisis de escenario	MA	MA	A	A	A	B.10	
Análisis de impacto en el negocio	A	MA	A	A	A	B.11	
Análisis de la causa raíz	NA	MA	MA	MA	MA	B.12	
Análisis de modos y efectos de fallas	MA	MA	MA	MA	MA	B.13	
Análisis del árbol de fallas	A	NA	MA	A	A	B.14	
Análisis del árbol de eventos	A	MA	A	A	NA	B.15	
Análisis de causa-consecuencia	A	MA	MA	A	A	B.16	
Análisis de causa y efecto	MA	MA	NA	NA	NA	B.17	
Análisis de capas de protección (LOPA)	A	MA	A	A	NA	B.18	
Árbol de decisiones	NA	MA	MA	A	A	B.19	
Análisis de fiabilidad humana	MA	MA	MA	MA	A	B.20	
Análisis bow tie	NA	A	MA	MA	A	B.21	
Mantenimiento centrado en la fiabilidad	MA	MA	MA	MA	MA	B.22	
Análisis del circuito de fuga	A	NA	NA	NA	NA	B.23	

(continúa)

**Tabla A.1 - Aplicabilidad de las herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo**  
(conclusión)

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo					Ver	
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Valoración del riesgo		
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo			
Análisis Markov	A	MA	NA	NA	NA	B.24	
Simulación Monte-Carlo	NA	NA	NA	NA	MA	B.25	
Estadísticas Bayesian y redes Bayes	NA	MA	NA	NA	MA	B.26	
Curvas FN	A	MA	MA	A	MA	B.27	
Índices de riesgo	A	MA	MA	A	MA	B.28	
Matriz de consecuencia/probabilidad	MA	MA	MA	MA	A	B.29	
Análisis de costo/beneficio	A	MA	A	A	A	B.30	
Análisis de decisión multi-criterios (MCDA)	A	MA	A	MA	A	B.31	

1) Muy aplicable.  
 2) No aplicable.  
 3) Aplicable.

**Tabla A.2 - Atributos de una selección de herramientas para la evaluación del riesgo**

Tipo de técnica de evaluación del riesgo	Descripción	Importancia de los factores que influyen			¿Puede proporcionar resultados cuantitativos?
		Recursos y capacidades	Naturaleza y grado de la incertidumbre	Complejidad	
<b>METODOS DE BUSQUEDA</b>					
Listas de verificación	Una forma sencilla de evaluación del riesgo. Una técnica que proporciona una lista de incertidumbres típicas que es necesario tener en consideración. Los usuarios pueden consultar listas, códigos o normas previamente desarrolladas.	Bajo	Bajo	Baja	No
Análisis preliminar de riesgos	Un método inductivo sencillo de análisis cuyo objetivo es identificar los riesgos y situaciones de riesgo y los eventos que pueden causar daños en una determinada actividad, instalación o sistema.	Bajo	Alto	Media	No
<b>METODOS DE APOYO</b>					
Entrevista estructurada y tormenta de ideas	Un medio de recopilación de un amplio conjunto de ideas y evaluación, que luego es clasificado por un equipo. La tormenta de ideas se puede estimular mediante proposiciones o técnicas de entrevistas uno a uno o uno con varios.	Bajo	Bajo	Baja	No
Técnica Delphi	Un medio de combinar las opiniones de expertos que puede apoyar la identificación del origen y de la influencia, la estimación de la probabilidad y de la consecuencia, y la valoración del riesgo. Es una técnica de colaboración para crear el consenso entre expertos.  Implica el análisis independiente y la votación de los expertos.	Medio	Medio	Media	No
SWIFT estructurado ("¿y sí...?")	Un sistema para ayudar a un equipo en la identificación de riesgos. Normalmente se utiliza dentro de un taller de trabajo dirigido. Por lo general está relacionado con una técnica de análisis y valoración del riesgo.	Medio	Medio	Alguna	No
Análisis del árbol de fallas	Una técnica que comienza con un evento no deseado (evento superior) y determina todos los caminos por los que puede ocurrir. Estos se representan gráficamente en un árbol de diagrama lógico. Una vez desarrollado el árbol de fallas, se deben tener en consideración los caminos para reducir o eliminar las posibles causas/orígenes.	Alto	Alto	Media	Sí

(continúa)

Tabla A.2 - Atributos de una selección de herramientas para la evaluación del riesgo (continuación)

Tipo de técnica de evaluación del riesgo	Descripción	Importancia de los factores que influyen			¿Puede proporcionar resultados cuantitativos?
		Recursos y capacidades	Naturaleza y grado de la incertidumbre	Complejidad	
Análisis del árbol de eventos	Se aplican razonamientos inductivos para determinar las probabilidades de que se inicien diferentes eventos con sus posibles efectos.	Medio	Medio	Media	Sí
Análisis de causa y consecuencia	Una combinación de los análisis del árbol de fallas y del árbol de eventos que permite la inclusión de demoras de tiempo. Se consideran las causas y las consecuencias de la iniciación de un evento.	Alto	Medio	Alta	Sí
Análisis de causa y efecto	Los diversos factores que contribuyen a que se produzca un efecto se pueden agrupar en diferentes categorías. Con frecuencia, estos factores contributivos se identifican a través de la tormenta de ideas y se representa mediante una estructura en árbol o de espina de pescado "Fishbone".	Bajo	Bajo	Media	No
ANALISIS FUNCIONAL					
FMEA y FMECA	<p>Análisis de modos y efectos de fallas (FMEA<sup>1</sup>) es una técnica que identifica los modos y mecanismos de falla y sus efectos.</p> <p>Existen varios tipos de análisis FMEA: FMEA del Diseño (o del producto), que se aplica a componentes y a productos; FMEA del Sistema, que se aplica a sistemas; FMEA del Proceso, que se aplica a procesos de fabricación y de montaje; FMEA del Servicio y FMEA del Software.</p> <p>El FMEA puede ir seguido por un análisis de criticidad que defina la importancia de cada modo de falla de forma cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa (FMECA<sup>2</sup>). El análisis de criticidad se puede basar en la probabilidad de que el modo de falla provocará la falla del sistema, o en el nivel de riesgo asociado al modo de falla, o en un número de prioridad del riesgo.</p>	Medio	Medio	Media	Sí

(continúa)

- 1) En inglés: *Failure Mode and Effect Analysis*.
- 2) En inglés: *Failure Mode, Effect and Criticality Analysis*.

**Tabla A.2 - Atributos de una selección de herramientas para la evaluación del riesgo (continuación)**

Tipo de técnica de evaluación del riesgo	Descripción	Importancia de los factores que influyen			¿Puede proporcionar resultados cuantitativos?
		Recursos y capacidades	Naturaleza y grado de la incertidumbre	Complejidad	
Mantenimiento centrado en la fiabilidad	Un método para identificar las políticas que se deben implementar para gestionar las fallas, a fin de conseguir eficaz y acertadamente la seguridad, la disponibilidad y la economía de funcionamiento requeridas en todos los tipos de equipos.	Medio	Medio	Media	Sí
Análisis de fugas (Análisis del circuito de fugas)	Una metodología para identificar errores de diseño. Una condición de fuga es una condición latente en el hardware o en el software o una condición integrada que puede originar un evento no deseado o que puede inhibir un evento deseado que no es causado por falla de un componente. Estas condiciones se caracterizan por su naturaleza aleatoria y por la facilidad de evadir la detección durante los ensayos más rigurosos de sistemas normalizados. Las condiciones de fuga pueden causar un funcionamiento inadecuado, la pérdida de disponibilidad del sistema, demoras en el programa, o incluso lesiones o la muerte de personas.	Medio	Medio	Media	No
HAZOP Análisis de riesgos y de operatividad	Un proceso general de identificación del riesgo para definir posibles desviaciones con respecto al rendimiento esperado o previsto. Este proceso utiliza una palabra guía basada en el sistema.  Se evalúan las criticidades de las desviaciones.	Medio	Alto	Alta	No
HACCP Análisis de peligros y de puntos críticos de control	Un sistema metódico, proactivo y preventivo para asegurar la calidad del producto, la fiabilidad y seguridad de los procesos, mediante la medición y monitoreo de las características específicas que se requiere que estén dentro de unos límites definidos.	Medio	Medio	Media	No

(continúa)

**Tabla A.2 - Atributos de una selección de herramientas para la evaluación del riesgo (continuación)**

Tipo de técnica de evaluación del riesgo	Descripción	Importancia de los factores que influyen			¿Puede proporcionar resultados cuantitativos?
		Recursos y capacidades	Naturaleza y grado de la incertidumbre	Complejidad	
<b>APRECIACION DE LOS CONTROLES</b>					
LOPA (Análisis de niveles de protección)	(También se puede denominar análisis de barrera). Permite evaluar los controles y la eficacia de éstos.	Medio	Medio	Media	Sí
Análisis bow tie	Un medio diagramático sencillo para describir y analizar los caminos de un riesgo, desde los peligros hasta los efectos, incluyendo la revisión de los controles. Se puede considerar que es una combinación de la lógica de un árbol de fallas que analiza las causas de un evento (representado por el nudo de un corbatín) y de un árbol de eventos que analiza las consecuencias.	Medio	Alto	Media	Sí
<b>METODOS ESTADISTICOS</b>					
Análisis Markov	El análisis Markov, a veces llamado análisis <i>estado-espacio</i> , se utiliza comúnmente para analizar sistemas complejos reparables que pueden existir en múltiples estados, incluidos distintos estados degradados.	Alto	Bajo	Alta	Sí
Simulación Monte-Carlo	La simulación Mote-Carlo se utiliza para establecer la variación agregada en un sistema, resultante de diversas variaciones del sistema, para un determinado número de entradas de datos, donde cada entrada tiene una distribución definida y las entradas están relacionadas con las salidas de datos a través de relaciones definidas. La simulación se puede aplicar para un modelo específico donde las interacciones de las diversas entradas se pueden definir matemáticamente. Las entradas se pueden basar en una variedad de tipos de distribución de acuerdo con la naturaleza de la incertidumbre que tales entradas están destinadas a representar. Para la evaluación del riesgo, se utilizan normalmente distribuciones triangulares o distribuciones beta.	Alto	Bajo	Alta	Sí

(continúa)

**Tabla A.2 - Atributos de una selección de herramientas para la evaluación del riesgo** (conclusión)

Tipo de técnica de evaluación del riesgo	Descripción	Importancia de los factores que influyen			¿Puede proporcionar resultados cuantitativos?
		Recursos y capacidades	Naturaleza y grado de la incertidumbre	Complejidad	
Análisis Bayesian	Un procedimiento estadístico que utiliza datos de la distribución previa para determinar la probabilidad del resultado. El análisis Bayesian depende de la precisión de la distribución previa para deducir un resultado exacto. El modelo causa y efecto de las redes Bayesian establece una variedad de dominios mediante la captura de relaciones probabilísticas de entradas de datos variables para obtener un resultado.	Alto	Bajo	Alta	Sí

## Anexo B (informativo)

### Técnicas de evaluación del riesgo

#### B.1 Tormenta de ideas

##### B.1.1 Presentación

La tormenta de ideas implica el estímulo y el fomento de conversaciones fluidas entre un grupo de personas competentes, con objeto de identificar los posibles modos de falla y los peligros asociados, los riesgos, los criterios para la toma de decisiones, y/o las opciones de tratamiento. El término "tormenta de ideas" se utiliza frecuentemente de forma muy imprecisa cuando se aplica a cualquier tipo de debate en grupo. Sin embargo, la tormenta de ideas verdadera implica técnicas particulares para tratar de garantizar que se fuerza la imaginación de las personas mediante las ideas y declaraciones de otras personas del grupo.

En esta técnica es muy importante la facilitación eficaz e incluye la estimulación del debate desde el principio, las indicaciones periódicas del grupo sobre otras áreas importantes, y la aceptación de los resultados obtenidos en el debate (que normalmente suele ser bastante animado).

##### B.1.2 Utilización

La tormenta de ideas se puede utilizar conjuntamente con otros métodos de evaluación del riesgo que se describen más adelante, o se puede utilizar como una técnica independiente para estimular pensamientos imaginativos en cualquier etapa del proceso de gestión del riesgo y en cualquier etapa del ciclo de vida de un sistema. Se puede utilizar para discusiones de alto nivel en donde se identifican problemas, para una revisión más detallada o para un nivel detallado de problemas particulares.

La tormenta de ideas obliga a poner un énfasis especial sobre la imaginación. Por ello, es particularmente útil cuando se identifican riesgos de una nueva tecnología, cuando no existen datos, o cuando se necesitan soluciones nuevas para los problemas.

##### B.1.3 Elementos de entrada

Un grupo de personas con conocimientos de la organización, del sistema, del proceso o de la aplicación que se está evaluando.

##### B.1.4 Proceso

La tormenta de ideas puede ser formal o informal. La tormenta de ideas formal está más estructurada con participantes preparados con antelación, y la sesión tiene una finalidad y unos resultados definidos con un medio de evaluar ideas avanzadas. La tormenta de ideas informal es menos estructurada y con frecuencia está más destinada a un caso específico.

En un proceso formal:

- el coordinador prepara las propuestas de las opiniones e inicia las acciones apropiadas al contexto antes de la sesión;
- se definen los objetivos de la sesión y se explican las reglas a seguir;

- el coordinador expone una serie de ideas y todas las personas las examinan y las identifican tantas como sea posible. En este punto no se discute si los proyectos deben estar o no en una lista, o con respecto a lo que significan las declaraciones particulares debido a que esto tiende a inhibir lo que se considera una idea fluida. Se aceptan todas las entradas y ninguna es criticada, y el grupo decide rápidamente para permitir opiniones laterales;
- el coordinador puede exponer a los asistentes una nueva pista cuando se agota la idea en una dirección, o el debate se desvía demasiado de su objetivo. No obstante, la idea se recoge al igual que muchas otras para un posterior análisis.

### B.1.5 Resultados

Los resultados dependen de la etapa del proceso de gestión del riesgo en la que se aplica. Por ejemplo, en la etapa de identificación, las salidas pueden ser una lista de riesgos y de controles actuales.

### B.1.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de la tormenta de ideas incluyen:

- estimular la imaginación, lo cual ayuda a identificar nuevos riesgos y soluciones novedosas;
- implica a las principales partes interesadas, y por tanto ayuda a la comunicación global;
- es relativamente rápida y fácil de establecer.

Las limitaciones incluyen:

- los participantes pueden carecer de los conocimientos técnicos y de otros tipos necesarios para ser colaboradores eficaces;
- dado que está relativamente poco estructurada, es difícil demostrar que se ha completado el proceso, por ejemplo, que se han identificado todos los riesgos potenciales;
- puede suceder que un grupo particular, en el que haya algunas personas con ideas valiosas permanezca tranquilo, mientras otras personas dominan el debate. Esto se puede superar mediante tormenta de ideas informáticas, utilizando un foro de charla a través de ordenadores o una técnica de grupo nominal. La tormenta de ideas por ordenador se puede establecer de manera que sea anónima, con lo cual se evitan los temas personales y políticos que pueden impedir el libre intercambio de ideas. En la técnica de grupo nominal, las ideas se envían de forma anónima a un moderador y después son discutidas por el grupo.

## B.2 Entrevistas estructuradas o semiestructuradas

### B.2.1 Presentación

En una entrevista estructurada, los entrevistados son sometidos a un conjunto de preguntas preparadas a partir de una hoja de indicaciones, que estimulan al entrevistado a ver la situación desde una perspectiva diferente y por tanto a identificar los riesgos desde esta perspectiva. Una entrevista semiestructurada es similar, pero permite más libertad para mantener una conversación con objeto de examinar los temas a tratar.

### B.2.2 Utilización

Las entrevistas estructuradas y semiestructuradas son útiles cuando es difícil reunir a las personas para una sesión de tormenta de ideas o cuando un debate fluido en grupo no es apropiado para la situación o para las personas implicadas. Estas entrevistas se utilizan frecuentemente para identificar riesgos o para evaluar la eficacia de los controles existentes como parte del análisis del riesgo. Se pueden realizar en cualquier etapa de un proyecto o proceso. Constituyen un medio de proporcionar una entrada para la evaluación del riesgo a las partes interesadas.

### B.2.3 Elementos de entrada

Las entradas incluyen:

- una definición clara de los objetivos de las entrevistas;
- una lista de entrevistados que se seleccionan de las partes interesadas pertinentes;
- un conjunto de preguntas preparadas.

### B.2.4 Proceso

Se establece un conjunto de preguntas pertinentes para que sirva de guía al entrevistador. Siempre que sea posible, las preguntas deben ser abiertas y concretas, sencillas, formuladas en un lenguaje apropiado al entrevistado, y relacionadas únicamente con un asunto. También se deben preparar las posibles preguntas de monitoreo para obtener aclaraciones.

Las preguntas se formulan entonces a la persona que está siendo entrevistada. Cuando se elaboran las preguntas de monitoreo, éstas deben ser abiertas y concretas. Se debe tener cuidado con no *influenciar* al entrevistado.

Las respuestas se deben considerar con cierto grado de flexibilidad, a fin de dar la oportunidad de que se exploren áreas en las que el entrevistado quiera entrar.

### B.2.5 Resultados

Los resultados son las opiniones de las partes interesadas sobre los temas de las entrevistas.

### B.2.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de las entrevistas estructuradas son los siguientes:

- las entrevistas estructuradas dan tiempo a las personas para que consideren la idea sobre un asunto;
- las comunicaciones uno a uno pueden permitir una consideración más profunda de los asuntos;
- las entrevistas estructuradas permiten la implicación de un mayor número de partes interesadas que la técnica de tormenta de ideas, que sólo utiliza un grupo relativamente pequeño.

Las limitaciones son las siguientes:

- el tiempo que emplea el coordinador para obtener las múltiples opiniones de los entrevistados;
- la desviación se tolera y no se elimina a través del debate en grupo;
- es posible que no se consiga la provocación de la imaginación, que es una característica de la técnica de tormenta de ideas.

## B.3 Técnica Delphi

### B.3.1 Presentación

La técnica Delphi es un procedimiento para obtener un consenso fiable de la opinión de un grupo de expertos. Aunque el término se utiliza ahora ampliamente para significar alguna forma de tormenta de ideas, una característica esencial de la técnica Delphi, formulada originalmente, fue que los expertos expresaron sus opiniones de forma individual y anónima, mientras que el acceso a las opiniones de los otros expertos lo tenían a medida que el proceso avanzaba.

### B.3.2 Utilización

La técnica Delphi se puede aplicar en cualquier etapa del proceso de gestión del riesgo o en cualquier fase del ciclo de vida de un sistema, dondequiera se necesite el consenso de las opiniones de los expertos.

### B.3.3 Elemento de entrada

Un conjunto de opciones para el que se necesita el consenso.

### B.3.4 Proceso

Mediante un cuestionario semiestructurado se realizan preguntas a un grupo de expertos. Los expertos no se reúnen con objeto de que sus opiniones sean independientes.

Este procedimiento consiste en lo siguiente:

- la formación de un equipo de trabajo para llevar a cabo y realizar el monitoreo al proceso Delphi;
- la selección de un grupo de expertos (puede haber uno o varios paneles de expertos);
- el desarrollo de la primera ronda del cuestionario;
- el ensayo del cuestionario;
- el envío del cuestionario individualmente a cada uno de los miembros del grupo;
- la información de la primera ronda de respuestas se analiza y combina y se redistribuye a los miembros del grupo;
- los miembros del grupo responden y se repite el proceso hasta que se consigue el consenso.

### B.3.5 Resultados

La convergencia hacia el consenso sobre el asunto que se está tratando.

### B.3.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- como los puntos de vista son anónimos, las opiniones impopulares se expresan con más libertad;
- todos los puntos de vista tienen la misma importancia, lo que evita el problema de personalidades dominantes;

- se consigue la posesión de los resultados;
- no es necesario que las personas se reúnan en un lugar y a una hora determinada.

Las limitaciones incluyen:

- es una labor intensa y que consume tiempo;
- los participantes necesitan ser capaces de expresarse por sí mismos por escrito y de forma clara.

## B.4 Listas de verificación

### B.4.1 Presentación

Las listas de verificación son listas de peligros, riesgos o fallas de control que se han desarrollado generalmente a partir de la experiencia como resultado de una evaluación previa del riesgo o como resultado de fallas ocurridas en el pasado.

### B.4.2 Utilización

Las listas de verificación se pueden utilizar para identificar peligros y riesgos o para valorar la eficacia de los controles. Se pueden utilizar en cualquier etapa del ciclo de vida de un producto, proceso o sistema. También se pueden utilizar como parte de otras técnicas de evaluación del riesgo, pero son más útiles cuando se aplican para comprobar que todo ha sido cubierto después de que se haya aplicado una técnica más imaginativa que identifique problemas nuevos.

### B.4.3 Elementos de entrada

Se puede seleccionar o desarrollar la información previa y los conocimientos técnicos del tema, tal como una lista de verificación aplicable y validada preferentemente.

### B.4.4 Proceso

El procedimiento es el siguiente:

- se define el alcance de la actividad;
- se selecciona una lista de verificación que cubra adecuadamente el alcance. Las listas de verificación se deben seleccionar cuidadosamente para el propósito. Por ejemplo, una lista de verificación de controles normalizados no se puede utilizar para identificar peligros o riesgos nuevos;
- la persona o el equipo de trabajo va siguiendo los pasos de la lista de verificación a través de cada elemento del proceso o sistema y revisa si los puntos de la lista de verificación están presentes.

### B.4.5 Resultados

Los resultados dependen de la etapa del proceso de gestión del riesgo en que se apliquen. Por ejemplo, el resultado puede ser una lista de controles que son inadecuados o una lista de riesgos.

#### B.4.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de las listas de verificación incluyen:

- pueden ser utilizadas por personas no expertas;
- cuando están bien diseñadas combinan una amplia gama de conocimientos técnicos en un sistema fácil de usar;
- pueden ayudar a asegurar que no se olvidan problemas comunes.

Las limitaciones incluyen:

- tienden a inhibir la imaginación en la identificación de riesgos;
- se dirigen hacia lo "conocido de lo conocido", y no hacia lo "desconocido de lo conocido" o a lo "desconocido de lo desconocido";
- estimulan el comportamiento de tipo "marcar lo comprobado";
- tienden a estar basadas en la observación, por lo que se pasan por alto problemas que se han visto rápidamente.

#### B.5 Análisis preliminar de peligros (PHA)

##### B.5.1 Presentación

El PHA es un método de análisis sencillo e inductivo cuyo objetivo consiste en identificar los peligros y las situaciones peligrosas, y los eventos que pueden causar daño a una actividad, instalación o sistema.

##### B.5.2 Utilización

Es el análisis que más se utiliza normalmente al comienzo del desarrollo de un proyecto, cuando se dispone de poca información sobre los detalles del diseño o sobre los procedimientos de funcionamiento, y con frecuencia puede ser un precursor de estudios adicionales o proporcionar información para la especificación del diseño de un sistema. También puede ser útil cuando se analizan sistemas existentes, a fin de priorizar peligros y riesgos para análisis posteriores o cuando las circunstancias impiden aplicar una técnica más extensiva que la que se está utilizando.

##### B.5.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen:

- la información sobre el sistema que se va a evaluar;
- detalles del diseño del sistema que estén disponibles y sean pertinentes.

##### B.5.4 Proceso

Se formula una lista de peligros y situaciones peligrosas genéricas y de riesgos, teniendo en consideración características tales como:

- los materiales utilizados o producidos y la reactividad de los mismos;
- los equipos utilizados;
- el entorno ambiental de funcionamiento;

- la disposición de conjunto;
- las interfaces entre componentes del sistema, etc.

Con objeto de identificar riesgos para la posterior evaluación de los mismos, se puede realizar un análisis cualitativo de las consecuencias de un evento no deseado y de sus probabilidades de que ocurra.

El PHA se debe actualizar durante las fases de diseño, construcción y ensayo, con objeto de detectar cualquier nuevo peligro y poder realizar correcciones, si fuese necesario. Los resultados obtenidos se pueden presentar en diferentes formas, tales como tablas y diagramas en árbol.

### B.5.5 Resultados

Los resultados incluyen:

- una lista de peligros y riesgos;
- recomendaciones acerca de la forma de aceptación, de los controles recomendados, de las especificaciones o requisitos de diseño para una evaluación más detallada.

### B.5.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- que se puede utilizar cuando la información existente es limitada;
- permite considerar los riesgos con mucha antelación en el ciclo de vida del sistema.

Las limitaciones incluyen:

- un PHA sólo proporciona información preliminar; no es completa ni proporciona información detallada sobre los riesgos y cómo se pueden prevenir de la mejor manera posible.

## B.6 HAZOP (Análisis de riesgos y de operatividad)

### B.6.1 Presentación

HAZOP es el acrónimo del análisis de riesgos (HAZard) y de operatividad (OPerability), que consiste en un examen estructurado y sistemático de un producto, proceso, procedimiento o sistema existente o planificado. Esta es una técnica para identificar riesgos para las personas, los equipos, el entorno y/o los objetivos de la organización. También se espera que, cuando sea posible, el equipo de trabajo proporcione una solución para el tratamiento del riesgo.

El proceso HAZOP es una técnica cualitativa basada en la utilización de palabras guía que cuestionan cómo la intención del diseño o las condiciones de funcionamiento podrían no alcanzarse en cada paso del diseño, proceso, procedimiento o sistema. Normalmente lo realiza un equipo de trabajo multidisciplinario durante una serie de reuniones.

El HAZOP es similar al FMEA (Análisis de modos y efectos de fallas) en cuanto a que identifica los modos de falla de un proceso, sistema o procedimiento, sus causas y sus consecuencias. Difiere en cuanto a que el equipo de trabajo tiene en consideración los resultados no deseados y las desviaciones con respecto a los resultados previstos, y las condiciones y los trabajos se repiten para localizar las causas posibles y los modos de falla, mientras que el FMEA comienza identificando los modos de falla.

## B.6.2 Utilización

La técnica HAZOP se desarrolló inicialmente para analizar sistemas de procesos químicos, pero después se ha ampliado a otros tipos de sistemas y operaciones complejas. En éstos se incluyen sistemas y procedimientos mecánicos y electrónicos, y sistemas de software, e incluso cambios organizacionales, y diseño y revisión de los contratos legales.

El proceso HAZOP puede tratar todas las formas de desviación respecto al diseño previsto debido a deficiencias en el diseño, componentes, procedimientos planificados y acciones humanas.

Este proceso es muy utilizado para revisar los diseños de software. Cuando se aplica al control de instrumentos críticos de seguridad y a sistemas informáticos se puede conocer como CHAZOP (*Control HAZards and OPerability Analysis o computer hazard and operability analysis*) (análisis para control de riesgos y de operatividad o análisis de riesgos y operatividad informática).

Normalmente, un estudio HAZOP se realiza en la etapa de diseño en detalle, cuando se dispone de un diagrama completo del proceso previsto, pero mientras los cambios de diseño aún son practicables. No obstante, el estudio se puede realizar con un enfoque por fases con diferentes palabras guías para cada etapa, a medida que el diseño se desarrolla en detalle. Un estudio HAZOP también se puede realizar durante la fase de funcionamiento, pero los cambios que se requieren en esta etapa pueden ser muy costosos.

## B.6.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada esenciales para un estudio HAZOP incluyen la información real sobre el sistema, el proceso o procedimiento a revisar, y las intenciones y las especificaciones de funcionamiento del diseño. Los elementos de entrada pueden incluir: planos, hojas de especificaciones, diagramas de flujo, diagramas lógicos y de control de proceso, planos de implantación, procedimientos de funcionamiento y de mantenimiento, y procedimientos de respuestas de emergencia. Para los estudios HAZOP que no estén relacionados con software, los elementos de entrada pueden ser cualquier documento que describa las funciones y los elementos del sistema o procedimiento que se está estudiando. Por ejemplo, los elementos de entrada pueden ser diagramas organizacionales y descripciones de funciones, un proyecto de contrato e incluso un proyecto de procedimiento.

## B.6.4 Proceso

Un estudio HAZOP toma el *diseño* y las especificaciones del proceso, procedimiento o sistema que se está estudiando y revisa cada una de sus partes para descubrir las desviaciones que se pueden producir con respecto al funcionamiento previsto, cuáles son las causas potenciales y cuáles las consecuencias probables de una desviación. Esto se consigue mediante el examen sistemático de cómo cada parte del sistema, proceso o procedimiento responderá a los cambios en los parámetros claves utilizando palabras guía adecuadas. Las palabras guía se pueden personalizar para un sistema, proceso o procedimiento particular, o se pueden utilizar palabras guía genéricas que sirvan para todos los tipos de desviaciones. La Tabla B.1 proporciona ejemplos de palabras guía que se utilizan normalmente en sistemas técnicos. Para identificar modos de errores humanos se pueden utilizar palabras guías similares, tales como *demasiado pronto, demasiado tarde, demasiado, demasiado pequeño, demasiado grande, demasiado corto, dirección errónea, objeto erróneo y acción errónea*.

Los pasos normales de un estudio HAZOP incluyen:

- el nombramiento de una persona que tenga la responsabilidad y la autoridad necesarias para dirigir el estudio HAZOP y para garantizar que se completarán todas las acciones que se deriven del estudio;
- la definición de los objetivos y del alcance del estudio;
- el establecimiento de un conjunto de claves o palabras guía para el estudio;

- la definición de un equipo de trabajo para el estudio HAZOP; generalmente, este equipo de trabajo es multidisciplinario y debe incluir personal de diseño y de operaciones que tengan los conocimientos técnicos apropiados para evaluar los efectos de las desviaciones con respecto al diseño previsto o real. Se recomienda que el equipo de trabajo incluya personas que no estén implicadas directamente en el diseño del sistema, proceso o procedimiento que se somete a revisión;
- la recopilación de la documentación que se requiere.

Dentro de una reunión de trabajo facilitada con el equipo de trabajo del estudio:

- dividir el sistema, proceso o procedimiento en elementos más pequeños, subsistemas, subprocesos o subelementos para hacer posible la revisión;
- acordar el diseño previsto para cada subsistema, subproceso o subelemento y después para cada artículo en este subsistema o elemento aplicando las palabras guía una a continuación de la otra para postular las posibles desviaciones que tendrán resultados indeseables;
- cuando se identifique un resultado indeseable, acordar la causa y las consecuencias en cada caso y sugerir la forma en que se puede tratar para impedir que ocurra o para mitigar las consecuencias si se produce;
- documentar el debate y el acuerdo de las acciones específicas para tratar los riesgos identificados.

**Tabla B.1 - Ejemplos de posibles palabras guía HAZOP**

Términos	Definiciones
No ninguna	No se consigue ninguna parte del resultado previsto o la condición prevista no existe
Más (más alta)	Aumento cuantitativo en la salida o en la condición de funcionamiento
Menos (más baja)	Disminución cuantitativa
Así como	Aumento cuantitativo (por ejemplo, material adicional)
Parte de	Disminución cuantitativa (por ejemplo, sólo uno o dos componentes en una mezcla)
Inverso/opuesto	Opuesto (por ejemplo, reflujo)
Distinta de	No se consigue ninguna parte de la intención, algunas veces ocurre algo completamente diferente (por ejemplo, flujo o material erróneo)
Compatibilidad	Material, entorno ambiental
Se aplican palabras guía a parámetros tales como:	
	Propiedades físicas de un material o proceso
	Condiciones físicas tales como temperatura, velocidad
	Una intención especificada de un componente de un sistema o diseño (por ejemplo, transferencia de información)
	Aspectos operacionales

## B.6.5 Resultados

Las actas de las reuniones HAZOP con los elementos de cada punto de revisión registrado, deberían incluir: las palabras guías utilizadas, las desviaciones, las causas posibles, las acciones encaminadas a los problemas identificados y la persona responsable de cada acción.

Para cualquier desviación que no se pueda corregir, se debe someter a evaluación el riesgo debido a la desviación.

## B.6.6 Fortalezas y limitaciones

El análisis HAZOP ofrece las siguientes ventajas:

- proporciona el medio para examinar de manera sistemática y total un sistema, proceso o procedimiento;
- implica la existencia de un equipo de trabajo multidisciplinario que incluya personas con experiencia operacional en la vida real y que pueden tener que realizar acciones de tratamiento;
- genera soluciones y acciones para el tratamiento del riesgo;
- es aplicable a una amplia gama de sistemas, procesos y procedimientos;
- permite la consideración explícita de las causas y de las consecuencias de errores humanos;
- crea un registro escrito del proceso que se puede utilizar para demostrar la diligencia necesaria.

Las limitaciones incluyen:

- un análisis detallado puede consumir mucho tiempo y, por lo tanto, muy costoso económicoamente;
- un análisis detallado requiere un alto nivel de documentación o de especificaciones del sistema/proceso y del procedimiento;
- se puede centrar en la búsqueda de soluciones detalladas en vez de hacer frente a suposiciones fundamentales (sin embargo, esto se puede mitigar mediante un enfoque por fases);
- el debate se puede centrar sobre asuntos detallados de diseño y no sobre asuntos más amplios o externos;
- está limitado por el diseño (proyecto) y el propósito del diseño, y por el alcance y los objetivos dados al equipo de trabajo;
- el proceso confía plenamente en los conocimientos técnicos de los diseñadores, quienes pueden encontrar dificultades para ser suficientemente objetivos en cuanto a identificar problemas en sus diseños.

## B.6.7 Documentos de referencia

IEC 61882      *Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide.*

## B.7 Análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP)

### B.7.1 Presentación

El análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP) proporciona una estructura para la identificación de los peligros y para establecer controles en todas las partes importantes de un proceso, a fin de protegerlo contra los peligros y de mantener la fiabilidad y la seguridad de la calidad de un producto. El HACCP tiene por objeto asegurar que los riesgos se minimizan mediante controles a lo largo de todo el proceso, mejor que con una inspección del producto final.

## B.7.2 Utilización

El HACCP se desarrolló para asegurar la calidad de los alimentos para los programas espaciales de la NASA. Ahora lo utilizan las organizaciones que funcionan dentro de la cadena alimenticia para controlar los riesgos debido a los contaminantes físicos, químicos o biológicos de los alimentos. También se ha extendido su utilización en la fabricación de productos farmacéuticos y de productos sanitarios. Los principios para identificar artículos que pueden influir en la calidad del producto, y para definir puntos en un proceso donde se puede realizar el monitoreo de los parámetros críticos y los peligros, se pueden controlar y se pueden generalizar para otros sistemas técnicos.

## B.7.3 Elementos de entrada

El análisis HACCP se inicia a partir de un organigrama básico o un diagrama de proceso y de la información sobre los peligros que pueden afectar a la calidad, seguridad o fiabilidad de los resultados del producto o proceso. La información sobre los peligros y sus riesgos, así como de las maneras en que éstos se pueden controlar constituye un elemento de entrada al análisis HACCP.

## B.7.4 Proceso

El análisis HACCP está constituido por los 7 principios siguientes:

- identificar los peligros y las medidas preventivas relativas a tales peligros;
- determinar los puntos del proceso donde los peligros se pueden controlar o eliminar (los puntos de control críticos o CCP);
- establecer los límites críticos necesarios para controlar los peligros, es decir, cada CCP debe funcionar dentro de parámetros específicos para asegurar que el peligro está controlado;
- hacer monitoreo de los límites críticos de cada CCP a intervalos definidos;
- establecer las acciones correctivas si el proceso se sale de los límites establecidos;
- establecer los procedimientos de verificación;
- implementar el mantenimiento de registros y procedimientos para cada etapa.

## B.7.5 Resultados

Registros documentados que incluyan una ficha de trabajo del análisis del peligro y un plan HACCP.

La ficha de análisis del peligro registra para cada etapa del proceso:

- los peligros que se pueden introducir, controlar o empeorar en cada etapa;
- si los peligros presentan un riesgo importante (en base a la consideración de las consecuencias y de la probabilidad a partir de una combinación de experiencia, datos y documentación técnica);
- la justificación de la importancia;
- las posibles medidas preventivas para cada peligro;
- si las medidas de monitoreo y de control se pueden aplicar en esta etapa (es decir, ¿es un CCP?).

El plan HACCP delinea los procedimientos a seguir para asegurar el control de un diseño, producto, proceso o procedimiento específicos. El plan incluye una relación de todos los CCP, y para cada uno de ellos debe indicar:

- los límites críticos de las medidas preventivas;
- las actividades de monitoreo y control continuo (incluyendo porqué, cómo y cuándo se realizará el monitoreo y quién lo llevará a cabo);
- las acciones correctivas que se requieren si se detectan desviaciones con respecto a los límites críticos;
- las actividades de verificación y de conservación de registros.

### B.7.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- un proceso estructurado que proporciona evidencias documentadas del control de calidad así como la identificación y reducción de riesgos;
- un enfoque sobre las posibilidades de cómo y cuándo, en un proceso, se pueden prevenir los peligros y controlar los riesgos;
- la evidencia de que es mejor controlar el riesgo a lo largo de todo el proceso que dejarlo para la inspección del producto final;
- una aptitud para identificar los peligros introducidos a causa de acciones humanas y de cómo éstas se pueden controlar en el punto de introducción o posteriormente.

Las limitaciones incluyen:

- el análisis HACCP requiere que se identifiquen los peligros, que se definan los riesgos que ellos representan, y que la importancia de los mismos se consideren como entradas al proceso. También es necesario definir los controles apropiados. Estos controles se requieren con objeto de especificar los puntos de control críticos y los parámetros de control durante el análisis HACCP, y puede ser necesario combinarlos con otras herramientas para conseguirlo;
- la toma de acciones cuando los parámetros de control exceden los límites definidos puede suponer la pérdida de la introducción de cambios graduales en los parámetros de control que son estadísticamente importantes y que por tanto se deben actualizar.

### B.7.7 Documentos de referencia

ISO 22000            *Food safety management systems - Requirements for any organization in the food chain.*

## B.8 Evaluación de los riesgos ambientales

### B.8.1 Presentación

La evaluación de los riesgos ambientales se utiliza aquí para cubrir el proceso que se sigue en la evaluación de los riesgos a que se exponen las plantas, los animales y las personas como consecuencia de la exposición a una gama de peligros ambientales. La gestión del riesgo hace referencia a los pasos de toma de decisiones que incluyen la evaluación del riesgo y el tratamiento del riesgo.

El método a seguir implica analizar el peligro o el origen del daño, y en cómo éste afecta a una población objetivo, así como los caminos por los cuales el peligro puede alcanzar a una población objetivo vulnerable. Esta información se combina entonces para dar una estimación de la probable amplitud y naturaleza del daño.

## B.8.2 Utilización

Este proceso se utiliza para evaluar los riesgos en plantas, animales y personas, como consecuencia de la exposición a peligros tales como químicos, microorganismos u otras especies.

Los aspectos de la metodología, tales como el análisis de los caminos que exploran las diferentes rutas por las que un modelo de referencia se puede exponer a un origen de riesgo, se pueden adaptar y utilizar a través de una gama muy amplia de áreas de riesgo diferentes, fuera del contexto de la salud humana y del entorno ambiental, y es útil para identificar los tratamientos a seguir para reducir el riesgo.

## B.8.3 Elementos de entrada

Este método requiere datos fiables sobre la naturaleza y las características de los peligros, la susceptibilidad de la población objetivo (o de poblaciones), y la forma en que las dos reaccionan entre sí. Estos datos se basan normalmente en investigaciones que se realizan en laboratorio o se obtienen de estadísticas epidemiológicas.

## B.8.4 Proceso

El procedimiento es el siguiente:

- Formulación del problema - esto incluye establecer el campo de aplicación de la evaluación mediante la definición de la variedad de poblaciones objetivo y los tipos de peligro de interés.
- Identificación del peligro - esto implica la identificación de todos los posibles orígenes de daño para la población objetivo a partir de los peligros incluidos dentro del alcance del estudio. La identificación del peligro depende normalmente de los conocimientos técnicos del experto y de la revisión de la documentación técnica.
- Análisis del peligro - esto implica la comprensión de la naturaleza del peligro y de cómo reacciona con la población objetivo. Por ejemplo, al considerar la exposición de personas a efectos químicos, el peligro puede incluir una toxicidad aguda y crónica, el potencial para dañar el ADN, o la posibilidad de producir cáncer o defectos de nacimiento. Para cada efecto peligroso, se compara la magnitud del efecto (la respuesta) con la cantidad de peligro al que se expone la población objetivo (la dosis) y, cuando sea posible, se determina el mecanismo por el que se produce el efecto. Se anotan los niveles en los que existen Efecto No Observable (NOEL) y Efectos Adversos No Observables (NOAEL). Dichos niveles se utilizan algunas veces como criterios de aceptabilidad del riesgo.

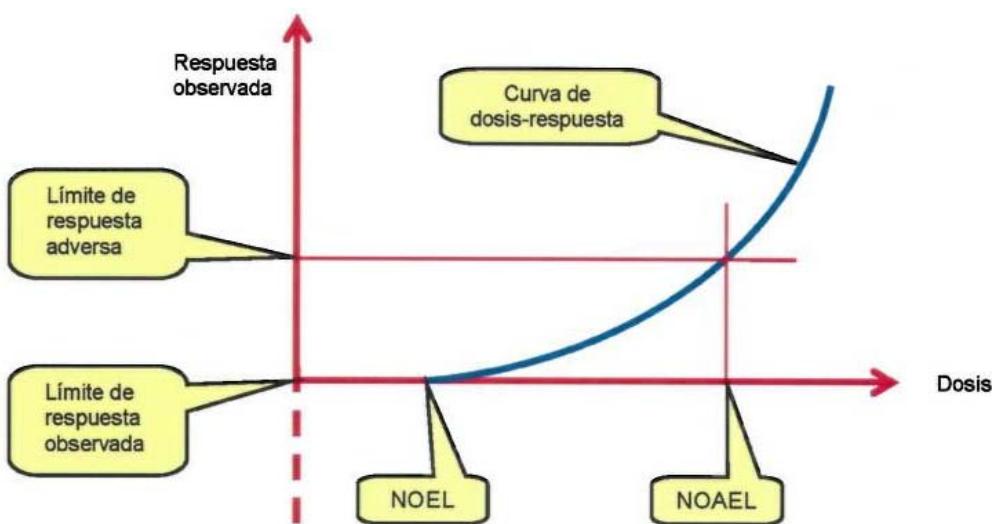


Figura B.1 - Curva de dosis-respuesta

Para la exposición a productos químicos, los resultados de los ensayos se utilizan para obtener las curvas de dosis-respuesta, tal como la mostrada esquemáticamente en Figura B.1. Normalmente, estas curvas se obtienen de ensayos sobre animales o a partir de sistemas experimentales, tales como cultivos de tejidos o de células.

Los efectos de otros peligros, tales como microorganismos o especies inoculadas, se pueden determinar a partir de los datos obtenidos de estudios de campo o epidemiológicos. Seguidamente se determina la naturaleza de la interacción de enfermedades o de plagas con la población objetivo y se estima la probabilidad de que se produzca un determinado nivel de daño como consecuencia de una exposición particular al peligro.

- d) Análisis de la exposición - en esta etapa se determina la manera y la cantidad en que una sustancia peligrosa o sus residuos pueden alcanzar a una población objetivo sensible. Con frecuencia, esto implica un análisis de vías de acceso que considere las diferentes rutas por las cuales el peligro puede aparecer, las barreras que pueden impedir que alcance a la población objetivo y los factores que pueden influir en el nivel de exposición. Por ejemplo, considerando el riesgo debido a la pulverización con productos químicos, el análisis de la exposición considera la cantidad de químico que se pulverizó, la forma y las condiciones en que se hizo, si hubo exposición directa de personas o animales, la cantidad que puede quedar como residuo en la vida de las plantas, el destino ambiental de los pesticidas que llegan al suelo, si se puede acumular en los animales o si entra en las aguas subterráneas. En lo referente a la seguridad biológica, el análisis de las vías de acceso puede considerar la forma en que una plaga que entre en el país se pueda transmitir al medio ambiente, establecerse y propagarse.
- e) Caracterización del riesgo - en esta etapa las informaciones obtenidas del análisis de los peligros y del análisis de la exposición se agrupan para estimar las probabilidades de que se produzcan consecuencias particulares cuando se combinan los efectos procedentes de todas las vías de acceso. Cuando existe un gran número de peligros o de vías de acceso, se puede realizar una selección inicial y después los análisis detallados de los peligros y de la exposición, y a continuación se lleva a cabo la caracterización del riesgo sobre los escenarios de alto riesgo.

### B.8.5 Resultados

Por lo general, el resultado consiste en una indicación del nivel de riesgo debido a la exposición de una población objetivo determinada a un peligro particular en el contexto que corresponda. El riesgo se puede expresar de manera cuantitativa, semicuantitativa o cualitativa. Por ejemplo, el riesgo de cáncer con frecuencia se expresa de manera cuantitativa como la probabilidad de que una persona desarrolle cáncer en un periodo de tiempo dado, al estar sometido a una exposición especificada de un contaminante. El análisis semicuantitativo se puede aplicar para obtener un índice de riesgo para un contaminante particular o plaga y el resultado cualitativo puede ser un nivel de riesgo (por ejemplo, alto, medio o bajo) o una descripción con datos prácticos de los probables efectos.

### B.8.6 Fortalezas y limitaciones

La fortaleza de este análisis es que proporciona una comprensión muy detallada de la naturaleza del problema y de los factores que aumentan el riesgo.

El análisis de las vías de acceso por lo general es una herramienta útil para todas las áreas de riesgo y permite la identificación de cómo y dónde puede ser posible mejorar los controles o introducir otros nuevos.

No obstante, este análisis necesita datos fiables que con frecuencia no están disponibles o tienen un elevado nivel de incertidumbre asociado a ellos. Por ejemplo, las curvas de dosis-respuesta obtenidas de la exposición de animales a niveles elevados de un peligro se deben extrapolar para estimar los efectos de niveles muy bajos de contaminantes aplicados a las personas, y existen muchos modelos mediante los cuales se consigue esto. Cuando la población objetivo es el medio ambiente en vez de personas y el peligro no es químico, se pueden limitar los datos que son directamente aplicables a las condiciones particulares del estudio.

## B.9 Técnica estructurada "¿y si...?" (SWIFT)

### B.9.1 Presentación

La técnica SWIFT se desarrolló inicialmente como una alternativa más sencilla al estudio HAZOP. Esta técnica consiste en un estudio sistemático basado en el equipo de trabajo, donde se utiliza un conjunto de palabras o frases de efecto *inmediato* que utiliza el coordinador dentro de una reunión de trabajo para estimular a los participantes a que identifiquen riesgos. El coordinador y el equipo de trabajo utilizan frases normalizadas del tipo "¿y si....?" combinadas con las indicaciones, para investigar cómo un sistema, un elemento de planta, una organización o un procedimiento resultará afectado por las desviaciones con respecto a las operaciones y al comportamiento normales. La técnica SWIFT se aplica normalmente a más de un nivel de sistemas con un nivel de detalle más bajo que en el estudio HAZOP.

### B.9.2 Utilización

Aunque la técnica SWIFT se diseñó inicialmente para ser aplicada al estudio de peligros en plantas químicas y petroquímicas, ahora su aplicación se ha extendido ampliamente a sistemas, artículos de plantas, procedimientos, y organizaciones en general. En particular, se utiliza para examinar las consecuencias de los cambios y los riesgos así alterados o creados.

### B.9.3 Elementos de entrada

El sistema, procedimiento, artículo de planta, y/o cambio se tiene que definir cuidadosamente antes de que el estudio pueda comenzar. Los contextos externo e interno los establece el coordinador a través de entrevistas y por medio del estudio de documentos, planes y planos. Normalmente, el artículo, la situación o el sistema que se somete a estudio se divide en nodos o en elementos claves para facilitar el proceso de análisis, pero esto raramente ocurre al nivel de definición que requiere el HAZOP.

Otra entrada importante la constituyen los conocimientos técnicos y la experiencia del equipo de trabajo, el cual debería ser cuidadosamente seleccionado. Todas las partes interesadas deben estar representadas, si es posible junto con aquellas personas que tienen experiencia en artículos, sistemas, modificaciones o situaciones similares.

### B.9.4 Proceso

El proceso general es el siguiente:

- a) Antes de comenzar el estudio, el coordinador prepara una lista de palabras o frases de indicación que se puede basar en un conjunto normalizado o se puede crear para que permita una revisión completa de peligros o riesgos.
- b) En la reunión de trabajo se discute y acuerda el contexto externo e interno del artículo, sistema, modificación o situación, y el alcance del estudio.
- c) El coordinador realiza preguntas a los participantes para provocar y discutir sobre:
  - riesgos y peligros conocidos;
  - experiencias e incidentes previos;
  - controles y protecciones conocidos y existentes;
  - requisitos y restricciones de carácter reglamentario.

- d) Se favorece el debate realizando una pregunta donde se utilice la frase "¿y si...?" y una palabra o punto de indicación. Las frases "¿y si...?" que se utilizarán son "¿y si...?", "¿qué pasaría si...?", "¿podría algo o alguien...?", "¿tiene alguien o algo sobre...?". Lo que se pretende es estimular al equipo de estudio a que explore posibles escenarios, así como sus causas, consecuencias e impactos.
- e) Se hace un resumen de los riesgos y se consideran los controles a introducir.
- f) El equipo de trabajo confirma y registra la descripción del riesgo, sus causas, consecuencias y los controles previstos.
- g) El equipo de trabajo considera si los controles son adecuados y eficaces y acuerda una declaración de la eficacia del control del riesgo. Si éste no llega a ser satisfactorio, el equipo de trabajo considera tareas adicionales de tratamiento del riesgo y define los posibles controles.
- h) Durante este debate se realizan otras preguntas adicionales del tipo "¿y si...?" para identificar otros riesgos.
- d) El coordinador utiliza la lista de indicaciones para monitorizar el debate y para sugerir asuntos y escenarios adicionales para que el equipo de trabajo los discuta.
- e) Es normal aplicar un método cualitativo o semicuantitativo de evaluación del riesgo para clasificar en términos de prioridad las acciones creadas. Esta evaluación del riesgo se dirige normalmente teniendo en cuenta los controles existentes y la eficacia de los mismos.

### B.9.5 Resultados

Los resultados incluyen un registro del riesgo con las acciones o tareas jerarquizadas en función del riesgo. Estas tareas pueden constituir después la base para un plan de tratamiento del riesgo.

### B.9.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas de la técnica SWIFT:

- es ampliamente aplicable a todos los casos de plantas físicas o sistemas, situaciones o circunstancias, organizaciones o actividades;
- necesita una preparación mínima por el equipo de trabajo;
- es relativamente rápida y los peligros y riesgos principales se descubren rápidamente en las reuniones de trabajo;
- el estudio está "orientado a sistemas" y permite a los participantes observar las respuestas del sistema a las desviaciones, mejor que examinar las consecuencias de la falla del componente;
- se puede utilizar para identificar las oportunidades de mejorar procesos y sistemas, y normalmente se puede utilizar para identificar acciones que conduzcan a mejorar sus probabilidades de éxito;
- en la reunión de trabajo se implica a aquellas personas que son responsables de los controles existentes y de acciones adicionales de tratamiento del riesgo, con el fin de reforzar sus responsabilidades;
- crea un registro del riesgo y un plan de tratamiento del riesgo con un poco más de esfuerzo,
- aunque con frecuencia se utiliza una forma cualitativa o semicuantitativa de clasificación del riesgo para la evaluación de éste y para priorizar la atención sobre las acciones resultantes, la técnica SWIFT se puede utilizar para identificar riesgos y peligros que se puedan encaminar a un estudio cuantitativo.

### Limitaciones de la técnica SWIFT:

- necesita un coordinador experto y capacitado que sea eficiente;
- se necesita una preparación cuidadosa a fin de no malgastar el tiempo que el equipo de trabajo dedica a las reuniones de trabajo;
- si el equipo de las reuniones de trabajo no tiene una base de experiencia suficientemente amplia o si el sistema de indicaciones no es completo, es posible que algunos riesgos o peligros no se identifiquen;
- la aplicación a alto nivel de la técnica puede no revelar causas complejas, detalladas o correlacionadas.

## B.10 Análisis de escenario

### B.10.1 Presentación

El análisis de escenario es el nombre dado al desarrollo de modelos descriptivos de lo que puede ocurrir en el futuro. Se puede utilizar para identificar riesgos mediante la consideración de posibles desarrollos futuros y la exploración de sus implicancias. Cuando se analiza el riesgo se pueden utilizar conjuntos de escenarios que reflejen (por ejemplo) “el mejor caso”, “el peor caso” y “el caso previsto” para analizar las posibles consecuencias y sus probabilidades de cada escenario, como una forma de análisis de sensibilidad.

La importancia de análisis de escenario se ilustra considerando los cambios importantes que se han producido en los últimos 50 años en la tecnología, en las preferencias de los consumidores, en las actitudes sociales, etc. El análisis de escenario no puede predecir las probabilidades de tales cambios, pero puede considerar las consecuencias y ayudar a las organizaciones a desarrollar fortalezas y a disponer de la elasticidad necesaria para adaptarse a los cambios previsibles.

### B.10.2 Utilización

El análisis de escenario se puede utilizar para ayudar en la toma de decisiones de política y en la planificación de estrategias futuras así como para considerar las actividades existentes. Puede jugar un papel importante en los tres componentes de la evaluación del riesgo. Para la identificación y el análisis, se pueden utilizar conjuntos de escenarios que reflejen (por ejemplo) el mejor caso, el peor caso y el caso *previsto* con objeto de identificar lo que puede suceder bajo circunstancias particulares y analizar las posibles consecuencias y sus probabilidades en cada escenario.

El análisis de escenario se puede utilizar para anticipar la manera en que se pueden desarrollar tanto las amenazas como las oportunidades, y también se puede utilizar para todos los tipos de riesgo con planteamientos a corto y a largo plazo. Con un planteamiento a corto plazo y con datos fiables, los posibles escenarios se pueden extraer a partir del momento presente. Para un planteamiento a largo plazo o con datos poco fiables, el análisis de escenario pasa a ser más imaginativo y se puede mencionar como análisis futuros.

El análisis de escenario puede ser útil cuando existen importantes diferencias de distribución entre consecuencias positivas y consecuencias negativas en cuanto a espacio, tiempo y grupos en la comunidad o en la organización.

### B.10.3 Elementos de entrada

El requisito previo para realizar un análisis de escenario es la disponibilidad de un equipo de personas que tengan entre ellos una comprensión de la naturaleza de los cambios importantes (por ejemplo, los posibles avances de la tecnología) y con imaginación para pensar en el futuro sin necesidad de realizar extrapolaciones desde el pasado. También es útil disponer de acceso a la literatura y a los datos sobre cambios que ya se hayan producido.

### B.10.4 Proceso

La estructura del análisis de escenario puede ser informal o formal.

Una vez establecido el equipo de trabajo y los correspondientes canales de comunicación, así como definido el contexto del problema y los asuntos a considerar, el paso siguiente consiste en identificar la naturaleza de los cambios que puedan ocurrir. Para esto será necesario investigar las tendencias principales y la probable cronología en tiempo de los cambios en las tendencias, así como tener pensamientos imaginativos acerca del futuro.

Los cambios a considerar pueden incluir:

- cambios externos (tales como cambios tecnológicos);
- las decisiones que será necesario tomar en un futuro próximo, pero que pueden tener una variedad de resultados;
- las necesidades de las partes interesadas y la forma en que estas necesidades pueden cambiar;
- los cambios macro-ambientales (regulatorio, demográfico, etc.). Algunos serán inevitables y algunos serán inciertos.

Algunas veces, un cambio puede ser debido a las consecuencias de otro riesgo. Por ejemplo, el riesgo del cambio climático es consecuencia de los cambios en la demanda de los consumidores con respecto a los alimentos existentes. Esto influirá en los alimentos que se puedan exportar rentablemente, así como en los alimentos que se puedan cultivar localmente.

Los factores o tendencias locales y macro se pueden ahora listar y jerarquizar por (1) importancia y (2) incertidumbre. Se presta especial atención a los factores que son más importantes y más inciertos. Los factores o tendencias clave se delimitan unos con otros sobre un plano para mostrar las zonas donde se pueden desarrollar los escenarios.

Se propone una serie de escenarios con cada uno, enfocado a un cambio verosímil de parámetros.

A continuación se escribe una *historia* de cada escenario que indique cómo uno se puede mover hasta el escenario objeto. Las historias pueden incluir detalles admisibles que aporten valor a los escenarios.

Los escenarios se pueden utilizar entonces para ensayar o evaluar la pregunta original. El ensayo tiene en cuenta todos los factores importantes que sean predecibles (por ejemplo, el uso de modelos), y luego explora cual sería el *éxito* de la política (actividad) en este nuevo escenario, y *pre ensaya* resultados mediante la utilización de preguntas "¿y si...?" basadas en las hipótesis del modelo.

Cuando la pregunta o la propuesta se ha evaluado con respecto a cada escenario, puede ser obvio que sea necesario modificarla para hacerla más consistente o menos arriesgada. También debe ser posible identificar algunos de los indicadores principales que muestran cuando se ha producido el cambio. El monitoreo y las respuestas de los indicadores principales pueden proporcionar la oportunidad de cambiar las estrategias planificadas.

Dado que los escenarios se definen sólo como *módulos* de futuros posibles, es importante tener la seguridad de que se tiene en cuenta la probabilidad de que se produzca un resultado particular (escenario), es decir, adoptar un marco de riesgo. Por ejemplo, cuando se utilicen escenarios que correspondan al mejor caso, al peor caso y al caso previsto, se debe realizar alguna prueba para calificar o expresar la probabilidad de que cada escenario se produzca.

## B.10.5 Resultados

Es posible que no exista el escenario mejor ajustado, pero debe existir uno que muestre una percepción más clara de la gama de opciones y de cómo modificar el curso de la acción elegida a medida que se mueven los indicadores.

## B.10.6 Fortalezas y limitaciones

El análisis de escenario tiene en cuenta una gama de futuros posibles que pueden ser preferibles al enfoque tradicional de depender de pronósticos altos-medios-bajos que se asumen mediante la utilización de datos históricos, aunque los eventos futuros probablemente continuarán siguiendo las tendencias del pasado. Esto es importante para situaciones en las que existen pocos conocimientos reales en los que basar las predicciones o donde los riesgos se están considerando para un futuro a largo plazo.

Sin embargo, esta fortaleza tiene una falta de solidez asociada, que consiste en que cuando existe una incertidumbre elevada algunos de los escenarios pueden no ser realistas.

Las principales dificultades de la utilización del análisis de escenario están relacionadas con la disponibilidad de datos, y la aptitud del análisis y de las personas que han de tomar decisiones de poder desarrollar escenarios realistas que sean flexibles para probar los posibles resultados.

Los peligros de utilizar el análisis de escenario como una herramienta para tomar decisiones son que los escenarios utilizados pueden no tener una base adecuada, que los datos pueden ser especulativos, y que los resultados no realistas no se pueden reconocer como tales.

## B.11 Análisis de impacto en el negocio (BIA)

### B.11.1 Presentación

El análisis de impacto en el negocio, también conocido como evaluación de impacto en el negocio, analiza la forma en que los riesgos de interrupción principales pueden afectar a las operaciones de la organización, e identifica y cuantifica los recursos que serían necesarios para gestionar tales riesgos. Específicamente, un análisis BIA proporciona una comprensión acordada de:

- la identificación y criticidad de los procesos que son económicamente fundamentales, funciones y recursos asociados y de las interdependencias claves que existen para una organización;
- la forma en que los eventos que interrumpen afectarán a la aptitud y a la capacidad para conseguir los objetivos que son críticos económicamente;
- la aptitud y la capacidad necesarias para gestionar el impacto de una interrupción y recuperar la organización hasta los niveles de funcionamiento acordados.

### B.11.2 Utilización

El análisis BIA se utiliza para determinar la criticidad y los marcos de tiempo de recuperación de los procesos y de los recursos asociados (personas, equipo, tecnología de la información), a fin de asegurar la consecución continuada de los objetivos. Adicionalmente, el análisis BIA ayuda a determinar las interdependencias y las interrelaciones entre procesos, las partes internas y externas, y cualquier conexión de la cadena de suministro.

### B.11.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen:

- un equipo de trabajo para realizar el análisis y desarrollo de la planificación;
- la información relativa a los objetivos, el entorno, las operaciones y las interdependencias de la organización;
- los detalles de las actividades y operaciones de la organización, incluyendo procesos, recursos de apoyo, relaciones con otras organizaciones, disposiciones de fuentes externas, y partes interesadas;
- las consecuencias financieras y operacionales de la pérdida de procesos críticos;
- un cuestionario preparado;
- la lista de entrevistados de las áreas pertinentes de la organización y/o de las partes interesadas con las que hay que contactar.

### B.11.4 Proceso

Un análisis BIA se puede comprender utilizando cuestionarios, entrevistas, reuniones de trabajo estructuradas o combinaciones de las tres, para obtener un conocimiento de los procesos críticos, los efectos de la pérdida de estos procesos, así como los marcos de tiempo de recuperación y los recursos de apoyo que se requieren.

Las etapas claves incluyen:

- en base a la evaluación del riesgo y de la vulnerabilidad, la confirmación de los procesos fundamentales y de los resultados de la organización para determinar la criticidad de los procesos;
- la determinación de las consecuencias de una interrupción sobre los procesos críticos identificados, en lo referente a los aspectos financieros y/u operacionales, sobre períodos de tiempo definidos;
- la identificación de las interdependencias con las principales partes interesadas internas y externas. Esto incluiría la delimitación de la naturaleza de las interdependencias a lo largo de la cadena de suministro;
- la determinación de los recursos reales disponibles y el nivel esencial de recursos necesarios para continuar el funcionamiento hasta un nivel mínimo aceptable después de una interrupción;
- la identificación de los trabajos y procesos alternativos actualmente en uso o planificados que se deben desarrollar. Cuando los recursos o las capacidades no estén disponibles o sean insuficientes durante la interrupción, puede ser necesario aplicar trabajos y procesos alternativos;
- la determinación del tiempo máximo de interrupción aceptable (MAO) para cada proceso, basado en las consecuencias identificadas y en los factores críticos de éxito de la función. El MAO representa el período máximo de tiempo que la organización puede tolerar la pérdida de capacidad;
- la determinación de los objetivos del tiempo de recuperación (RTO) de cualquier equipo especializado o tecnología de información. El RTO representa el tiempo dentro del cual la organización intenta recuperar el equipo especializado o la capacidad de tecnología de información;
- la confirmación del nivel actual de preparación de los procesos críticos para gestionar una interrupción. Esto puede incluir la evaluación del nivel de redundancia dentro del proceso (por ejemplo, equipo de repuesto) o la existencia de suministradores alternativos.

### B.11.5 Resultados

Los resultados son los siguientes:

- una lista de prioridades de procesos críticos e interdependencias asociadas;
- los impactos financieros y operacionales documentados debido a una pérdida de los procesos críticos;
- los recursos de apoyo necesarios para los procesos críticos identificados;
- los calendarios de interrupción de los procesos críticos y los cuadros de tiempo de recuperación de la tecnología de información asociada.

### B.11.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del BIA incluyen:

- la comprensión de los procesos críticos que proporciona la organización con la aptitud de continuar hasta alcanzar sus objetivos previstos;
- la comprensión de los recursos que se requieren;
- una oportunidad para redefinir el proceso operacional de una organización para ayudar en la flexibilidad de la organización.

Las limitaciones incluyen:

- la falta de conocimiento por parte de los participantes implicados en completar los cuestionarios, en la realización de entrevistas o en las reuniones de trabajo;
- la dinámica del grupo puede afectar al análisis completo de un proceso crítico;
- expectativas simplistas o muy optimistas de los requisitos de recuperación;
- dificultad para obtener un nivel adecuado de comprensión de las operaciones y actividades de la organización.

## B.12 Análisis de la causa raíz (RCA)

### B.12.1 Presentación

El análisis de una pérdida importante para prevenir que vuelva a ocurrir se conoce como Análisis de la Causa Raíz (RCA), Análisis de Falla de la Causa Raíz (RCFA) o análisis de pérdida. El análisis RCA se centra en las pérdidas de activos debido a diversos tipos de fallas, mientras que el análisis de pérdidas se aplica principalmente a las pérdidas financieras o económicas debidas a factores externos o a catástrofes. Este análisis intenta identificar las causas raíz u originales en vez de tratar únicamente los síntomas inmediatamente obvios. Se reconoce que la acción correctiva no siempre puede ser totalmente eficaz y que puede ser necesaria una mejora continua. El análisis RCA se aplica con bastante frecuencia para la evaluación de una pérdida importante, pero también se puede utilizar para analizar pérdidas sobre una base más global para determinar donde se pueden realizar mejoras.

### B.12.2 Utilización

El análisis RCA se aplica en varios contextos con las siguientes amplias áreas de utilización:

- el RCA basado en la seguridad se utiliza en las investigaciones de accidentes y en las áreas de salud y seguridad ocupacional;
- el análisis de falla se utiliza en sistemas tecnológicos relacionados con la fiabilidad y el mantenimiento;
- el RCA basado en la producción se aplica en el campo del control de la calidad dentro de la fabricación industrial;
- el RCA basado en el proceso está enfocado a procesos del negocio;
- el RCA basado en el sistema se ha desarrollado como una combinación de las áreas anteriores para tratar sistemas complejos con aplicación en la gestión de cambios, la gestión del riesgo y el análisis de sistemas.

### B.12.3 Elementos de entrada

La entrada básica para un RCA la constituye la totalidad de las evidencias recopiladas de la falla o de la pérdida. En el análisis también se pueden considerar los datos procedentes de otras fallas similares. Otras entradas pueden ser los resultados obtenidos ensayando hipótesis específicas.

### B.12.4 Proceso

Cuando se identifica la necesidad de realizar un análisis RCA, se nombra un grupo de expertos para llevar a cabo el análisis y hacer recomendaciones. El tipo de experto dependerá principalmente de los conocimientos técnicos específicos necesarios para analizar la falla.

Aunque se pueden utilizar diferentes métodos para realizar el análisis, los pasos básicos en la ejecución de un RCA son similares e incluyen:

- la constitución del equipo de trabajo;
- el establecimiento del campo de aplicación y de los objetivos del RCA;
- la recopilación de datos y evidencias de la falla o pérdida;
- la realización de un análisis estructurado para determinar la causa raíz;
- desarrollar soluciones y hacer recomendaciones;
- implementar las recomendaciones;
- verificar el éxito de las recomendaciones implantadas.

Las técnicas de análisis estructurado pueden ser una de las siguientes:

- técnica de *5 porqués*, es decir, preguntar repetidamente *¿por qué?* para eliminar opciones de causa y subcausa;
- análisis del modo de falla y de los efectos;
- análisis de árbol de fallas;
- diagramas de espina de pescado o de Ishikawa;
- análisis Pareto;
- delimitación de la causa raíz.

Con frecuencia, la evaluación de las causas avanza desde causas físicas inicialmente evidentes hasta causas relacionadas con las personas, y finalmente hasta la gestión subyacente o causas fundamentales. Las partes implicadas deben poder controlar o eliminar los factores causales con objeto de que la acción correctiva sea efectiva y que valga la pena.

### B.12.5 Resultados

Los resultados de un análisis RCA incluyen:

- la documentación recopilada de los datos y las evidencias;
- las hipótesis consideradas;
- las conclusiones sobre las causas primordiales más probables de la falla o de la pérdida;
- las recomendaciones de la acción correctiva.

### B.12.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- la implicación de los expertos correspondientes trabajando en equipo;
- el análisis estructurado;
- la consideración de todas las hipótesis probables;
- la documentación de los resultados;
- la necesidad de exponer las recomendaciones finales.

Limitaciones de un RCA:

- es posible que no se dispongan de los expertos que se requieren;
- las evidencias críticas pueden ser destruidas en la falla o quedar eliminadas durante la rectificación;
- es posible que el equipo de trabajo no disponga de tiempo o de recursos suficientes para evaluar totalmente la situación;
- es posible que las recomendaciones no se puedan implementar adecuadamente.

## B.13 Análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) y Análisis de modos y efectos de fallas y de la criticidad (FMECA)

### B.13.1 Presentación

El análisis de modos y efectos de fallas (FMEA) es una técnica que se utiliza para identificar las vías por las que los componentes, sistemas o procesos pueden dejar de cumplir con su intención de diseño.

El análisis FMEA identifica:

- todos los posibles modos de falla de las diversas partes de un sistema (un modo de falla es lo que se observa que falla o que funciona incorrectamente);
- los efectos que estas fallas pueden tener sobre el sistema;
- los mecanismos de la falla;
- cómo evitar las fallas, y/o mitigar los efectos de las fallas sobre el sistema.

El análisis FMECA supera al FMEA en que a cada modo de falla identificado le asigna una jerarquía en función de su importancia o criticidad.

Normalmente, el análisis de criticidad es de tipo cualitativo o semicuantitativo, pero se puede cuantificar mediante la aplicación de estimaciones de falla reales.

### B.13.2 Utilización

Existen varias aplicaciones del análisis FMEA: FMEA de diseño (o de producto) que se utiliza para componentes y productos, FMEA de sistema que se utiliza para sistemas, FMEA de proceso que se utiliza para procesos de fabricación y de montaje, FMEA de servicios y FMEA de software.

Los análisis FMEA/FMECA se pueden aplicar durante el diseño, la fabricación o el funcionamiento de un sistema físico.

No obstante, para mejorar la confiabilidad, normalmente los cambios son más fáciles de implementar en la etapa de diseño. Los análisis FMEA y FMECA también se pueden aplicar a procesos y procedimientos. Por ejemplo, se utilizan para identificar el potencial de error médico en sistemas de atención de salud, y fallas en los procedimientos de mantenimiento.

El análisis FMEA/FMECA se puede utilizar para:

- ayudar en la selección de alternativas de diseño con una alta confiabilidad;
- asegurar que se han considerado todos los modos de falla de sistemas y procesos, y sus efectos sobre el éxito operacional;
- identificar los modos de errores humanos y sus efectos;
- disponer de una base para planificar los ensayos y el mantenimiento de sistemas físicos;
- mejorar el diseño de los procedimientos y procesos;
- proporcionar información cualitativa o cuantitativa de técnicas de análisis tales como el análisis de árbol de fallas.

Los análisis FMEA y FMECA pueden proporcionar entradas para otras técnicas de análisis tales como el análisis de árbol de fallas a nivel cualitativo o cuantitativo.

### B.13.3 Elementos de entrada

Los análisis FMEA y FMECA necesitan información acerca de los elementos del sistema con detalle suficiente para el análisis significativo de las vías en que cada elemento puede fallar. Para un FMEA de diseño detallado, el elemento puede estar a nivel de componente individual detallado, mientras que para un FMEA de diseño de nivel más alto, los elementos se pueden definir a un nivel más elevado.

La información puede incluir:

- planos o un diagrama de flujo del sistema que se está analizando y de sus componentes, o los pasos de un proceso;
- una comprensión de la función de cada paso de un proceso o componente de un sistema;
- detalles de los parámetros ambientales y de otros tipos, que puedan afectar al funcionamiento;
- una comprensión de los resultados de fallas particulares;
- información histórica de las fallas, incluyendo los datos de las tasas de falla, cuando estén disponibles.

### B.13.4 Proceso

El proceso FMEA consiste en lo siguiente:

- a) definición del alcance y de los objetivos del estudio;
- b) composición del equipo de trabajo;
- c) comprensión del sistema/proceso que se va a someter al FMECA;
- d) descomposición del sistema en sus componentes o pasos;
- e) definición de la función de cada paso o componente;
- f) para cada componente o paso listado, identifica:
  - ¿cómo puede fallar cada parte de una forma concebible?
  - ¿qué mecanismos pueden producir estos modos de falla?
  - ¿cuáles serían los efectos en caso de producirse la falla?
  - ¿es la falla inofensiva o dañina?
  - ¿cómo se detecta la falla?
- g) identificación de las disposiciones inherentes al diseño para compensar la falla.

Para el análisis FMECA, el equipo de trabajo clasifica cada uno de los modos de falla identificados en función de su criticidad.

Existen diversas formas de hacerlo. Los métodos más comunes incluyen:

- el índice de criticidad del modo de falla;
- el nivel de riesgo;
- el número de la prioridad del riesgo.

La criticidad modelo es una medida de la probabilidad de que el modo de falla que se está considerando produzca una falla en el sistema considerado en su conjunto; se define como:

Probabilidad del efecto de la falla \*Régimen del modo de falla\* Tiempo de funcionamiento del sistema.

Se aplica con más frecuencia a modos de falla del equipo en los que cada uno de estos términos se puede definir cuantitativamente y todos los modos de falla tienen las mismas consecuencias.

El nivel de riesgo se obtiene combinando las consecuencias de un modo de falla que ocurre, con la probabilidad de la falla. Se utiliza cuando las consecuencias de modos de falla diferentes son distintas y se pueden aplicar a sistemas o procesos de equipos. El nivel de riesgo se puede expresar de forma cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa.

El número de prioridad del riesgo (RPN) es una medida semicuantitativa de la criticidad, que se obtiene multiplicando números de las escalas de clasificación (normalmente entre 1 y 10) por la consecuencia de la falla, la probabilidad de falla y la aptitud para detectar el problema. (A una falla se le da una prioridad más alta si es difícil de detectar). Este método se utiliza con mucha frecuencia en aplicaciones de aseguramiento de la calidad.

Una vez que los modos y los mecanismos de falla han sido identificados, las acciones correctivas se pueden definir e implementar para los modos de falla más importantes.

El FMEA se documenta en un informe que contiene:

- los detalles del sistema que se ha analizado;
- la forma en que se realizó el análisis;
- las suposiciones efectuadas en el análisis;
- los orígenes de los datos;
- los resultados, incluyendo las fichas de trabajo completadas;
- la criticidad (si se ha completado) y la metodología aplicada para definirla;
- todas las recomendaciones para análisis adicionales, los cambios o características de diseño a incorporar en los planes de ensayo, etc.

El sistema se puede volver a someter a reevaluación para otro ciclo de análisis FMEA, después que se hayan completado las acciones.

### B.13.5 Resultados

El resultado principal del análisis FMEA consiste en una lista de modos de falla y de los mecanismos y efectos de falla para cada componente o paso de un sistema o proceso (que puede incluir información sobre la probabilidad de la falla). También proporciona información sobre las causas de la falla y las consecuencias para el sistema considerado en su totalidad. El resultado del análisis FMECA incluye una clasificación de la importancia basada en la probabilidad de que el sistema falle, el nivel de riesgo resultante del modo de falla o en una combinación del nivel de riesgo y la *detectabilidad* del modo de falla.

El FMECA puede dar un resultado cuantitativo si se utilizan datos adecuados de la tasa de fallas y consecuencias cuantitativas.

### B.13.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de los análisis FMEA/FMECA son los siguientes:

- son ampliamente aplicable a modos de falla de personas, equipos y sistemas y para hardware, software y procedimientos;
- identifican los modos de falla de los componentes, sus causas y sus efectos sobre el sistema, y los presentan en un formato fácilmente legible;
- evitan la necesidad de costosas modificaciones del equipo en servicio, mediante la identificación temprana de problemas en el proceso de diseño;
- identifican modos de falla de un solo punto y los requisitos, por redundancia o mediante sistemas de seguridad;
- proporcionan elementos de entrada para el desarrollo de programas de monitoreo, destacando las características importantes para realizar el monitoreo.

Las limitaciones incluyen:

- estos análisis únicamente se pueden utilizar para identificar modos de falla únicos, y no combinaciones de modos de falla;
- salvo que se controlen y enfoquen adecuadamente, los estudios pueden ocupar mucho tiempo y ser costosos;
- pueden ser difíciles y tediosos para sistemas complejos de muchas etapas.

### B.13.7 Documentos de referencia

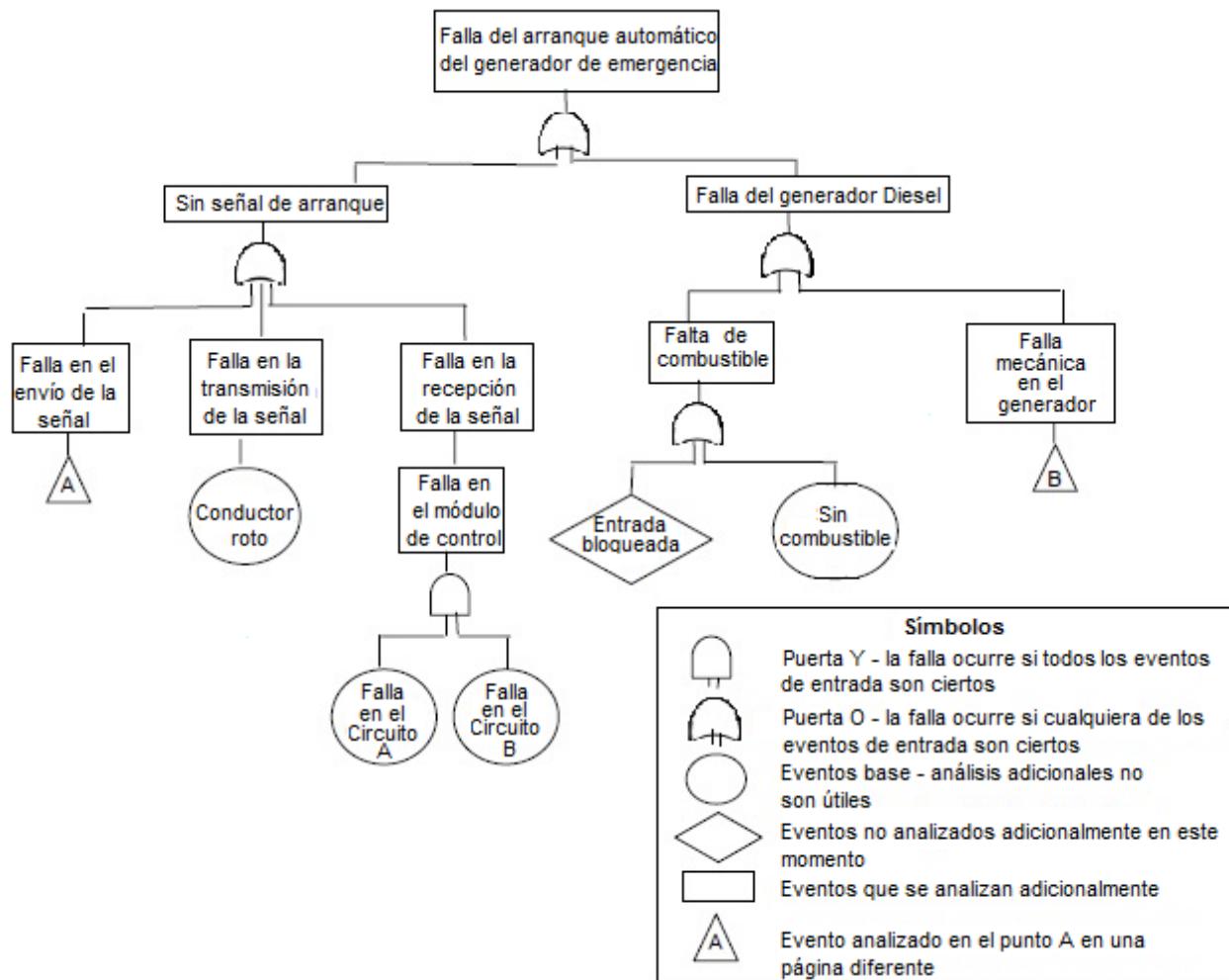
IEC 60812 *Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas. Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE).*

## B.14 Análisis del árbol de fallas (FTA)

### B.14.1 Presentación

El FTA es una técnica para identificar y analizar factores que pueden contribuir a un evento especificado no deseado (denominado el *evento superior o principal*). Los efectos causales se identifican deductivamente, se organizan de una manera lógica y se representan gráficamente mediante un diagrama de árbol que describe los factores causales y sus relaciones lógicas con respecto al evento superior.

Los factores identificados en el árbol pueden ser eventos que están asociados con fallas materiales de componentes, con errores humanos o con cualquier otro evento pertinente que conduce al evento no deseado.



IEC 2063709

Figura B.2 - Ejemplo de un FTA según norma IEC 60300-3-9

### B.14.2 Utilización

Un árbol de fallas se puede utilizar cualitativamente para identificar las causas potenciales y los caminos por los que se produce una falla (el evento superior), o cuantitativamente para calcular la probabilidad del evento superior, proporcionando conocimiento de las probabilidades de los eventos causales.

Se puede utilizar en la etapa de diseño de un sistema para identificar las causas potenciales de la falla y, por tanto, para seleccionar entre opciones de diseño diferentes. Se puede utilizar en la fase de funcionamiento para identificar cómo se pueden producir las fallas principales, y la importancia relativa de los diferentes caminos que llevan al evento superior. Un árbol de fallas también se puede utilizar para analizar una falla que ha ocurrido, con objeto de representar mediante un diagrama la forma en que eventos diferentes se unieron para causar la falla.

### B.14.3 Elementos de entrada

Para el análisis cualitativo se requiere conocer el sistema y las causas de la falla, así como el conocimiento técnico de cómo el sistema puede fallar. Los diagramas detallados son útiles como ayuda para el análisis.

Para el análisis cuantitativo, se requieren datos sobre las frecuencias de falla o sobre la probabilidad de que exista un estado de falla para todos los eventos básicos del árbol de fallas.

### B.14.4 Proceso

Las etapas para desarrollar un árbol de fallas son las siguientes:

- Se define el evento superior a analizar. Este puede ser una falla o puede ser una consecuencia más amplia de esta falla. Cuando se analiza la consecuencia, el árbol puede contener una sección relacionada con la mitigación de la falla real.
- Comenzando con el evento superior, las posibles causas inmediatas de los modos de falla conducen a que el evento superior sea identificado.
- Cada una de estas causas/modos de falla se analiza para identificar cómo se pueden producir sus fallas.
- Progresivamente se siguen las etapas de identificación del funcionamiento no deseable del sistema para los niveles sucesivamente más bajos hasta que los análisis adicionales ya no sean procedentes. En un sistema de hardware, esta falla puede surgir a nivel de falla de componente. Los eventos y factores causales del nivel más bajo del sistema analizado se conocen como eventos de base.
- Cuando se puedan asignar probabilidades a los eventos de base, se puede calcular la probabilidad del evento superior. Para que la cuantificación sea válida, debe ser posible demostrar que para cada salida, todas las entradas son necesarias y suficientes para provocar el evento de salida. Cuando no sea este el caso, el árbol de fallas no es válido para el análisis de la probabilidad, pero puede ser una herramienta útil para mostrar las relaciones causales.

Como parte de la cuantificación, puede ser necesario simplificar el árbol de fallas utilizando álgebra de Boole para contabilizar los modos de falla duplicados.

El árbol de fallas proporciona también una estimación de la probabilidad de que se pueda identificar el evento principal y los ajustes de corte mínimos que formarían caminos individuales separados hacia el evento principal, así como que se pueda calcular las influencias de éstos sobre el evento superior.

Salvo para los árboles de falla simples, es necesario disponer de programas informáticos para realizar los cálculos adecuadamente cuando existen eventos repetidos en varios lugares del árbol de fallas, y para calcular los ajustes de corte mínimos. Los programas informáticos ayudan a asegurar la consistencia, la exactitud y la verificación.

### B.14.5 Resultados

Los resultados del análisis del árbol de fallas son los siguientes:

- una representación gráfica de cómo puede ocurrir el evento superior que muestra la interacción de los caminos donde dos o más eventos pueden ocurrir simultáneamente;
- Una lista de los ajustes de corte mínimos (caminos individuales hacia la falla) con (cuando los datos están disponibles) la probabilidad de que ocurra cada uno de ellos;
- la probabilidad del evento superior.

### B.14.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas del análisis FTA:

- Este análisis ofrece un enfoque disciplinado que es altamente sistemático, pero que al mismo tiempo es suficientemente flexible para permitir el análisis de una variedad de factores, incluyendo las interacciones humanas y los fenómenos físicos.
- La aplicación del enfoque *de arriba hacia abajo*, implícito en la técnica, centra la atención sobre aquellos efectos de falla que están relacionados directamente con el evento superior.
- El FTA es especialmente útil para analizar sistemas que tengan muchas interfaces e interacciones.
- La representación gráfica permite una fácil comprensión del comportamiento del sistema y de los factores que incluye, pero como los árboles suelen ser grandes, el procesamiento de los árboles de fallas puede requerir sistemas informáticos. Esta característica permite la inclusión de relaciones lógicas más complejas (por ejemplo, NAND y NOR), pero también hace que la verificación del árbol de fallas sea más difícil.
- El análisis lógico de los árboles de fallas y la identificación de los ajustes de corte, es útil para la identificación de caminos de falla simples en un sistema muy complejo en el que se pueden pasar por alto combinaciones particulares de eventos que conducen al evento superior.

Las limitaciones incluyen:

- Las incertidumbres en las probabilidades de los eventos de base se incluyen en los cálculos de la probabilidad del evento superior. Esto puede originar altos niveles de incertidumbre cuando las probabilidades de falla del evento de base no se conocen con exactitud; no obstante, en sistemas bien conocidos es posible un alto grado de confianza.
- En algunas situaciones, los eventos causales no están ligados unos a otros y puede ser difícil averiguar si están incluidos todos los caminos importantes hacia el evento superior. Por ejemplo, la inclusión de todos los orígenes de ignición como evento superior en el análisis de un fuego. En esta situación, no es posible el análisis de probabilidad.
- El árbol de fallas es un modelo estático; las interdependencias del tiempo no se consideran.
- Los árboles de fallas solamente se pueden tratar con estados binarios (falló/no falló).
- Aunque los modos de error humano se pueden incluir en un árbol de fallas cualitativo, en general las fallas de grado o calidad que con frecuencia caracteriza a los errores humanos no se pueden incluir fácilmente.
- Un árbol de fallas no permite que los efectos dominó o las fallas condicionales se puedan incluir fácilmente.

### B.14.7 Documentos de referencia

IEC 61025      *Análisis por árbol de fallos (AAF).*

IEC 60300-3-9      *Dependability management - Part 3: Application guide - Section 9: Risk analysis of technological systems.*

### B.15 Análisis del árbol de eventos (ETA)

#### B.15.1 Presentación

El análisis ETA es una técnica gráfica para la representación de secuencias mutuamente exclusivas de eventos que siguen a un evento iniciador de acuerdo con el funcionamiento/no funcionamiento de los diversos sistemas diseñados para mitigar sus consecuencias (ver Figura B.3). Este análisis se puede aplicar cualitativa y cuantitativamente.

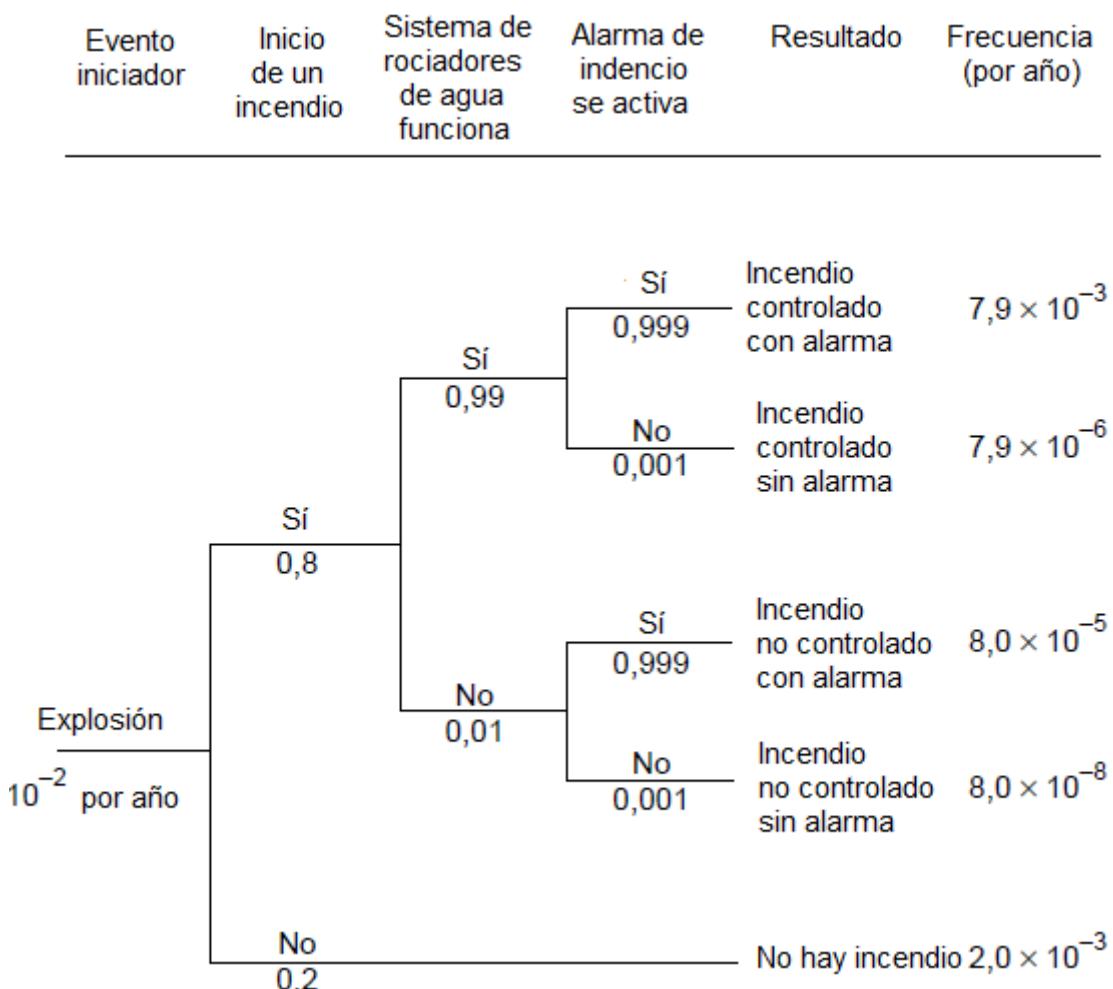


Figura B.3 - Ejemplo de un árbol de eventos

La Figura B.3 muestra los cálculos simples para un ejemplo de árbol de eventos, cuando las ramas son totalmente independientes.

Mediante el despliegue en forma de árbol, el análisis ETA puede representar eventos de agravamiento o de mitigación en respuesta al evento iniciador, teniendo en cuenta sistemas, funciones o barreras adicionales.

### B.15.2 Utilización

El análisis ETA se puede utilizar para modelar, calcular y clasificar (desde un punto de vista del riesgo) los diferentes escenarios de accidente que siguen al evento iniciador.

El análisis ETA se puede utilizar en cualquier etapa del ciclo de vida de un producto o proceso. Se puede utilizar cualitativamente para ayudar en la tormenta de ideas de escenarios potenciales y secuencias de eventos que siguen a un evento iniciador y para ver cómo los resultados son afectados por los diversos tratamientos, barreras o controles previstos para mitigar resultados no deseados.

El análisis cuantitativo tiende a considerar por sí mismo la aceptabilidad de los controles. Se utiliza con frecuencia para modelar fallas en los que hay múltiples protecciones.

El análisis ETA también se puede utilizar para modelar eventos iniciadores que pueden proporcionar pérdidas o ganancias. No obstante, las circunstancias en las que se buscan caminos para optimizar las ganancias, se modelan más frecuentemente utilizando un árbol de decisión.

### B.15.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen:

- una lista de eventos iniciadores apropiados;
- información sobre los tratamientos, barreras y controles, y sus probabilidades de falla (para análisis cuantitativos);
- la comprensión de los procesos en los cuales una falla inicial se intensifica.

### B.15.4 Proceso

Un árbol de eventos comienza con la selección de un evento iniciador. Este evento puede ser un incidente, tal como una explosión de polvo, o un evento causal tal como una falla de potencia. Se listan en consecuencia las funciones o sistemas disponibles para mitigar los resultados. Para cada función o sistema se traza una línea para representar su éxito o su falla. A cada línea se puede asignar una probabilidad particular de falla con esta probabilidad condicional estimada, por ejemplo, mediante un juicio experto o un análisis de árbol de fallas. De esta forma, se modelan diferentes caminos a partir del evento iniciador.

Se hace notar que las probabilidades en el árbol de eventos son probabilidades condicionales, por ejemplo, la probabilidad de que funcione un rociador de agua no es la probabilidad obtenida mediante ensayos realizados bajo condiciones normales, sino la probabilidad de que funcione bajo condiciones de incendio causado por una explosión.

Cada camino a través del árbol representa la probabilidad de que todos los eventos ocurrirán en ese camino. Por ello, la frecuencia del resultado se representa por el producto de las probabilidades condicionales individuales y la frecuencia de la iniciación del evento, dado que los diferentes eventos son independientes.

### B.15.5 Resultados

Los resultados del análisis ETA incluyen lo siguiente:

- descripciones cualitativas de los posibles problemas, considerados como combinaciones de eventos que producen diversos tipos de problemas (gama de resultados) a partir de los eventos iniciadores;
- estimaciones cuantitativas de las frecuencias o probabilidades del evento y de la importancia relativa de las diversas secuencias de falla y de los eventos que contribuyen;
- lista de recomendaciones para reducir los riesgos;
- evaluaciones cuantitativas de la eficacia de las recomendaciones.

### B.15.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis ETA incluyen lo siguiente:

- se analizan los posibles escenarios que el análisis ETA presenta gráficamente después de un evento iniciador, y en un diagrama se representa de forma clara la influencia del éxito o de la falla de los sistemas o de las funciones de mitigación;
- contabiliza en función del tiempo los efectos de dependencia y de dominó que son incómodos para la modelización del árbol de fallas;
- representa gráficamente las secuencias de los eventos que no es posible representar cuando se utilizan árboles de fallas.

Las limitaciones incluyen:

- con objeto de utilizar el análisis ETA como parte de una evaluación completa, es necesario identificar todos los eventos iniciadores. Esto se puede hacer aplicando otro método de análisis (por ejemplo, HAZOP, PHA), sin embargo, siempre existe la posibilidad de que desaparezca algún evento iniciador importante;
- con los árboles de eventos, sólo se tratan estados de éxito y de falla, y es difícil incorporar éxitos atrasados o la recuperación de eventos;
- cualquier camino es condicional en cuanto a los eventos que han ocurrido en los puntos de bifurcación previos a lo largo del camino. Por lo tanto, muchas dependencias son dirigidas a lo largo de los posibles caminos. No obstante, algunas dependencias, tales como componentes comunes, sistemas de utilidad y operadores se pueden pasar por alto si no se manejan cuidadosamente, pueden dar lugar a estimaciones optimistas del riesgo.

## B.16 Análisis de causa-consecuencia

### B.16.1 Presentación

El análisis de causa-consecuencia es una combinación del análisis de árbol de fallas y del análisis de árbol de eventos. Comienza a partir de un evento crítico y analiza las consecuencias por medio de una combinación de salidas lógicas SÍ/NO que representan las condiciones que pueden ocurrir, o las fallas de los sistemas que se han diseñado para mitigar las consecuencias del evento iniciador. Las causas de las condiciones o las fallas se analizan mediante árboles de fallas (ver cláusula B.15).

## B.16.2 Utilización

El análisis de causa-consecuencia se desarrolló inicialmente como una herramienta de fiabilidad para sistemas críticos de seguridad, lo que proporcionaba una comprensión más completa de las fallas del sistema. Como análisis de árbol de fallas, se utiliza para representar la lógica de la falla que conduce a un evento crítico, pero aumenta la funcionalidad de un árbol de fallas al permitir que se analicen las fallas secuenciales en el tiempo. Este método también permite que las demoras de tiempo se incorporen al análisis de las consecuencias, lo que no es posible con los árboles de eventos.

Este método se utiliza para analizar los diversos caminos que un sistema puede tomar después de un evento crítico y dependiendo del comportamiento de los subsistemas particulares (tales como sistemas de respuestas de emergencia). Si se cuantifican, proporcionarán una estimación de la probabilidad de las diferentes consecuencias posibles que siguen a un evento crítico.

Como en un diagrama de causa-consecuencia, cada secuencia es una combinación de árboles de subfallas, el análisis de causa-consecuencia se puede utilizar como una herramienta para preparar árboles de falla mayores.

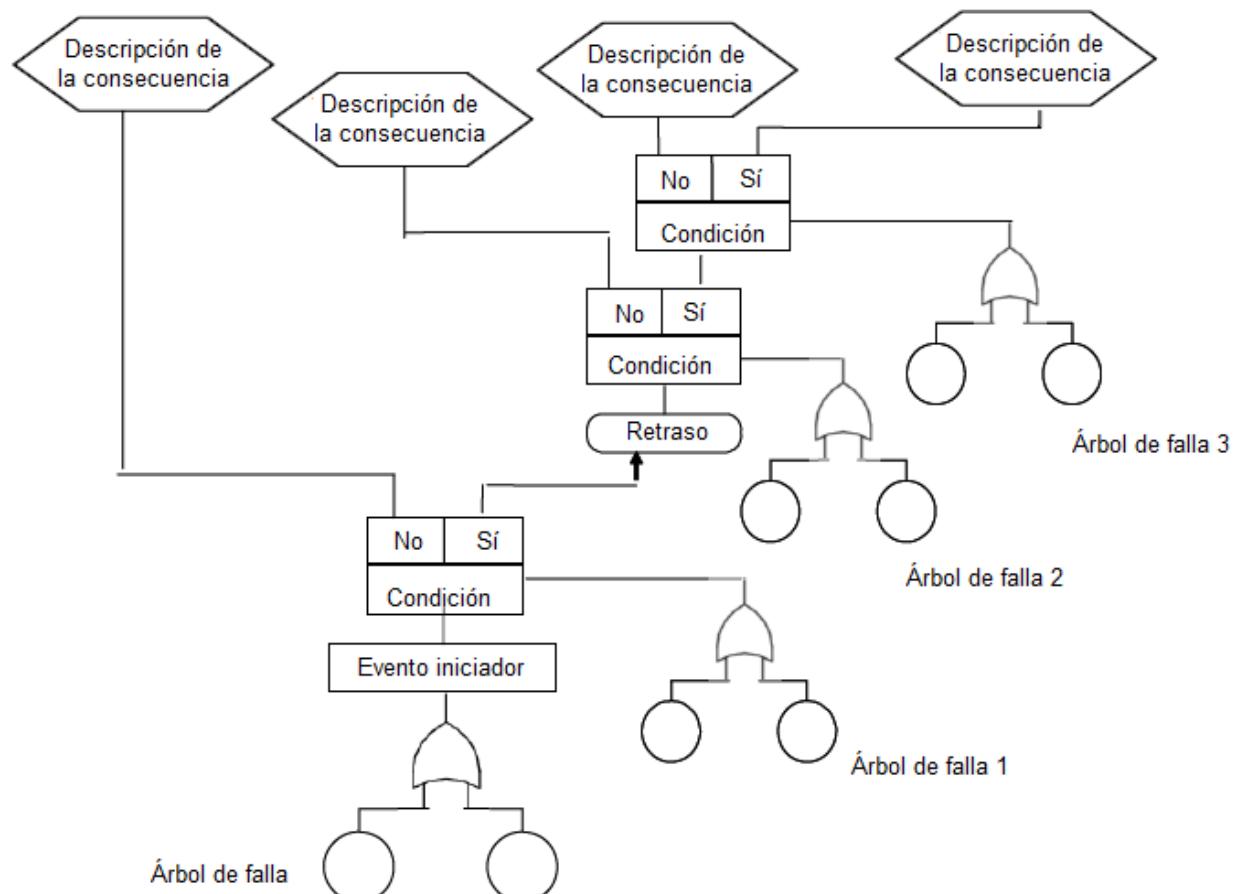
Los diagramas son complejos de preparar y de utilizar, y por ello sólo se tiende a utilizarlos cuando la magnitud de las potenciales consecuencias de la falla justifica un esfuerzo intenso.

## B.16.3 Elementos de entrada

Se requiere el conocimiento del sistema, así como de sus modos de falla y de los escenarios de falla.

## B.16.4 Proceso

La Figura B.4 muestra un diagrama conceptual de un análisis de causa-consecuencia típico.



IEC 2065/09

**Figura B.4 - Ejemplo de análisis de causa-consecuencia**

El procedimiento es el siguiente:

- Se identifica el evento crítico (o iniciador) (equivalente al evento superior de un árbol de fallas y al evento iniciador de un árbol de eventos).
- Se desarrolla y valida el árbol de fallas para las causas del evento iniciador como se describe en cláusula B.14. Se utilizan los mismos símbolos que en un análisis de árbol de fallas convencional.
- Se decide el orden en que se consideran las condiciones. Esta debe ser una secuencia lógica tal como la secuencia temporal en que las condiciones se producen.
- Se construyen los vectores para las consecuencias en función de las distintas condiciones. Es similar a un árbol de eventos, pero las bifurcaciones en los caminos del árbol de eventos se muestran como cajas etiquetadas con la condición particular que se aplica.
- La probabilidad de cada consecuencia se puede calcular, siempre que las fallas de cada caja de condición sean independientes. Esto se consigue asignando primero probabilidades a cada salida de la caja de condición (utilizando los árboles de falla aplicables que sean apropiados). La probabilidad de que una secuencia cualquiera conduzca a una secuencia particular se obtiene multiplicando las probabilidades de cada secuencia por las condiciones que terminan en esta secuencia particular. Si más de una secuencia termina con la misma consecuencia, se suman las probabilidades de cada secuencia. Si existen dependencias entre fallas de condiciones en una secuencia (por ejemplo, una falla de la energía puede dar lugar a varias condiciones de falla), entonces las dependencias se deben tratar antes de los cálculos.

## B.16.5 Resultado

El resultado del análisis de causa-consecuencia es una representación en diagrama de cómo puede fallar un sistema, mostrando las causas y las consecuencias. Es una estimación de la probabilidad de ocurrencia de cada posible consecuencia basada en el análisis de las probabilidades de ocurrencia de condiciones particulares que siguen al evento crítico.

## B.16.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de causa-consecuencia son las mismas que las de los análisis de árboles de eventos y de árboles de fallas combinadas. Además, supera algunas de las limitaciones de estas técnicas pudiendo analizar eventos que se desarrollan en el tiempo. El análisis de causa-consecuencia proporciona una visión global del sistema.

Las limitaciones son que éste análisis es más complejo que los análisis de árbol de fallas y de árbol de eventos, así como la forma de realizarlo y la manera en que las dependencias se tratan durante la cuantificación.

## B.17 Análisis de causa y efecto

### B.17.1 Presentación

El análisis de causa y efecto es un método estructurado para identificar las posibles causas de un evento o problema indeseable. Este análisis organiza los posibles factores contributivos en categorías, de manera que se pueden considerar todas las posibles hipótesis. No obstante, no apunta por sí mismo a las causas reales, ya que éstas sólo se pueden determinar por medio de evidencias reales y de ensayos empíricos de las hipótesis. La información se organiza en un diagrama de espina de pescado *Fishbone* (también llamado diagrama de Ishikawa) o algunas veces en diagrama en árbol (ver B.17.4).

### B.17.2 Utilización

El análisis de causa y efecto proporciona una presentación gráfica estructurada de una lista de causas de un efecto específico. El efecto puede ser positivo (un objetivo) o negativo (un problema) dependiendo del contexto.

Este análisis se utiliza para permitir la consideración de todos los escenarios y causas posibles identificadas por un equipo de expertos, y que se establezca el consenso de las causas más probables que se pueden ensayar empíricamente o por evaluación de los datos disponibles. Es más útil al comienzo de un análisis para pensar en las causas posibles y después establecer las potenciales hipótesis que se puedan considerar de la manera más formal.

La elaboración de un diagrama de causa y efecto se puede llevar a cabo cuando existe la necesidad de:

- identificar las causas raíz posibles, las razones básicas, de un efecto, problema o condición específicos;
- clasificar y relacionar algunas de las interacciones entre los factores que afectan a un proceso particular;
- analizar los problemas existentes para que se aplique la acción correctiva.

Los beneficios de la elaboración de un diagrama de causa y efecto incluyen:

- que la atención de los miembros de la revisión se concentre sobre un problema específico;
- ayudar a determinar las causas raíz de un problema utilizando un enfoque estructurado;

- alentar la participación del equipo de expertos y utilizar el conocimiento de este grupo sobre el producto o proceso;
- utilizar un formato ordenado y fácil de leer para las relaciones del diagrama de causa y efecto;
- indicar las posibles causas de variación en un proceso;
- identificar las áreas donde se deben recopilar datos para estudios adicionales.

El análisis de causa y efecto se puede utilizar como un método que realiza el análisis de la causa raíz (ver cláusula B.12).

### B.17.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada para un análisis de causa y efecto pueden proceder de los conocimientos técnicos y de la experiencia de los participantes o de un modelo desarrollado previamente que se haya utilizado en el pasado.

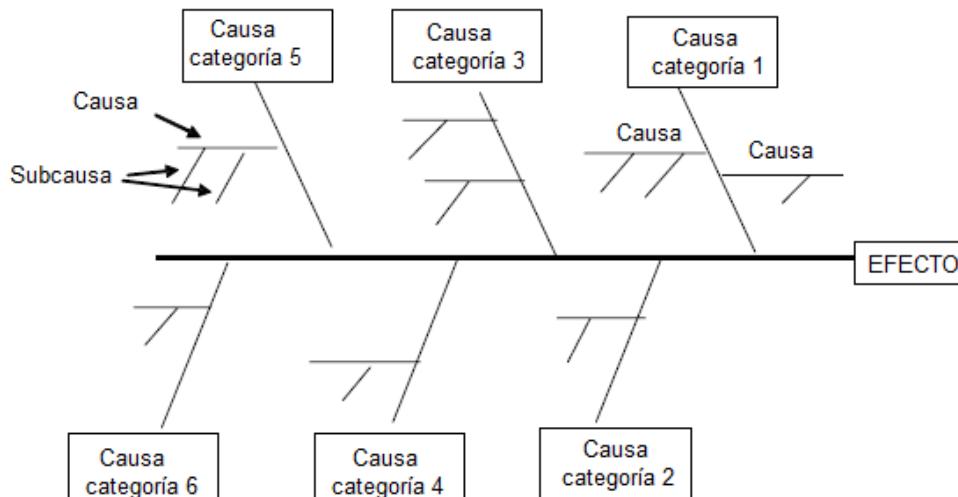
### B.17.4 Proceso

El análisis de causa y efecto debe ser realizado por un equipo de expertos con conocimientos en el problema que requiere solución.

Los pasos básicos para realizar el análisis de causa y efecto son los siguientes:

- establecer el efecto a analizar y situarlo en una caja. El efecto puede ser positivo (un objetivo) o negativo (un problema) dependiendo de las circunstancias;
- determinar las categorías principales de las causas representadas por cajas en el diagrama de espina de pescado *Fishbone*. Típicamente, para un problema del sistema, las categorías pueden ser personas, equipos, entorno ambiental, procesos, etc. No obstante, estas categorías se eligen para fijar el contexto particular;
- llenar cada categoría principal con ramales y subramaes de las causas posibles para describir la relación entre ellas;
- preguntar *¿por qué?* o *¿a causa de qué?* para conectar las causas;
- revisar todos los ramales para verificar la coherencia y plenitud, y asegurar que las causas se aplican al efecto principal;
- identificar la mayoría de las causas probables en base a la opinión del equipo de expertos y a la evidencia disponible.

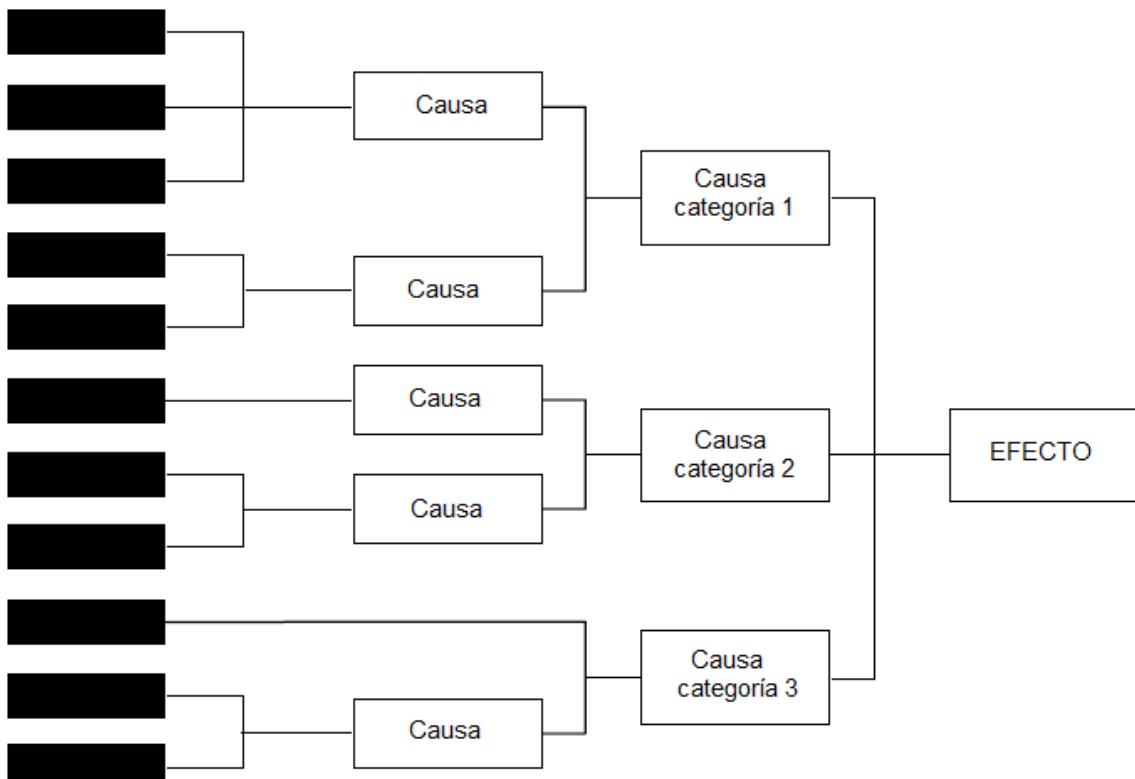
Los resultados se representan normalmente como un diagrama de espina de pescado *Fishbone* o diagrama de Ishikawa o un diagrama en árbol. El diagrama de espina de pescado *Fishbone* se estructura separando las causas en categorías principales (representadas por las líneas situadas fuera de la espina central del pescado) con ramales y subramaes que describen más causas específicas en esas categorías.



IEC 2066/09

**Figura B.5 - Ejemplo de diagrama de espina de pescado Fishbone o de Ishikawa**

En apariencia, la representación en árbol es similar a un árbol de fallas, aunque con frecuencia se representa con el árbol desarrollándose de izquierda a derecha en vez de hacia la parte de abajo de la página. No obstante, no se puede cuantificar para producir una probabilidad del evento principal dado que las causas son posibles factores que contribuyen, en lugar de fallas, con una probabilidad de ocurrencia conocida.



IEC 2067/09

**Figura B.6 - Ejemplo de formulación en árbol del análisis de causa y efecto**

Por lo general, los diagramas de causa y efecto se utilizan en forma cualitativa. Es posible asumir que la probabilidad del problema es 1 y asignar probabilidades a causas genéricas, y posteriormente a las subcausas, sobre la base del grado de creencia acerca de su relevancia. Sin embargo, con frecuencia los factores contributivos interactúan y contribuyen al efecto por caminos complejos que invalidan la cuantificación.

### B.17.5 Resultados

El resultado de un análisis de causa y efecto es un diagrama de espina de pescado *Fishbone* o un diagrama en árbol que muestra las causas posibles y probables. Después esto se tiene que verificar y ensayar empíricamente antes de poder hacer recomendaciones.

### B.17.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- la implicación de los expertos que trabajan en equipo;
- el análisis estructurado;
- la consideración de todas las hipótesis probables;
- una ilustración gráfica de los resultados fácil de leer;
- áreas identificadas donde se necesitan datos adicionales;
- se puede utilizar para identificar los factores que contribuyen a los efectos deseados así como a los no deseados. El hacer un enfoque positivo sobre una consecuencia puede fomentar un mayor dominio y participación.

Las limitaciones incluyen:

- el equipo puede no tener los conocimientos técnicos necesarios;
- éste no es un proceso completo por sí mismo y necesita ser una parte de un análisis de la causa raíz para poder generar recomendaciones;
- es más una técnica de presentación de tormenta de ideas que una técnica de análisis independiente;
- la separación de los factores causales en categorías principales al comienzo del análisis significa que las interacciones entre las categorías no se pueden considerar adecuadamente, por ejemplo, cuando la falla del equipo es debido a errores humanos, o los problemas humanos son causados por un diseño deficiente.

## B.18 Análisis de capas de protección (LOPA)

### B.18.1 Presentación

El LOPA es un método semicuantitativo para estimar los riesgos asociados con un evento o escenario no deseado. Sirva para analizar si existen suficientes medidas para controlar o mitigar el riesgo.

Se selecciona un par causa-consecuencia y se identifican las capas de protección que impiden que la causa conduzca a una consecuencia no deseada. Se realiza un cálculo de magnitudes para determinar si la protección es adecuada para reducir el riesgo hasta un nivel tolerable.

## B.18.2 Utilización

El LOPA se puede utilizar en forma cualitativa simplemente para revisar las capas de protección entre un peligro o evento causal y una consecuencia. Normalmente se aplicaría un enfoque semicuantitativo para añadir más rigor al proceso de filtrado, por ejemplo a continuación de un HAZOP o PHA.

El LOPA proporciona una base para la especificación de capas de protección independientes (IPLs) y niveles de integridad y seguridad (niveles SIL) para sistemas instrumentados, como se describen en la serie de normas IEC 61508 o en la norma IEC 61511, y para la determinación de los requisitos del nivel de integridad y seguridad (SIL) para sistemas instrumentados de seguridad. El LOPA se puede utilizar para ayudar a asignar de forma efectiva los recursos para la reducción del riesgo, analizando la reducción del riesgo producida por cada capa de protección.

## B.18.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada al LOPA incluyen:

- la información básica sobre riesgos, incluyendo peligros, causas y consecuencias tales como las facilitadas por un PHA;
- la información sobre los controles instalados o propuestos;
- las frecuencias de un evento causal, y las probabilidades de falla de la capa de protección, las medidas de la consecuencia y una definición de riesgo tolerable;
- las frecuencias de causas iniciadoras, las probabilidades de falla de la capa de protección, las medidas de la consecuencia y una definición de riesgo tolerable.

## B.18.4 Proceso

El LOPA lo realiza un equipo de expertos aplicando el siguiente procedimiento:

- se identifican las causas iniciadoras de una consecuencia no deseada y se buscan datos sobre sus frecuencias y consecuencias;
- se selecciona un par de causa-consecuencia;
- se identifican y analizan en cuanto a su eficacia las capas de protección que impiden la causa que da lugar a la consecuencia no deseada;
- se identifican las capas de protección independientes (IPLs) (no todas las capas de protección son IPLs);
- se estima la probabilidad de falla de cada IPL;
- se combina la frecuencia de la causa iniciadora con las probabilidades de falla de cada IPL, y las probabilidades de todos los modificadores condicionales (un modificador condicional es, por ejemplo si una persona estará presente y será impactada) para determinar la frecuencia de ocurrencia de la consecuencia no deseada. Para las frecuencias y las probabilidades se utilizan órdenes de magnitud;
- se compara el nivel de riesgo calculado con los niveles de tolerancia del riesgo para determinar si se requiere protección adicional.

Un IPL es un dispositivo, sistema o acción que es capaz de impedir que un escenario preceda a su consecuencia no deseada, con independencia del evento causal o de cualquier otra capa de protección asociada al escenario.

Un IPL incluye:

- características de diseño;
- dispositivos de protección física;
- sistemas de enclavamiento y de parada;
- alarmas críticas e intervención manual;
- protección física posterior al evento;
- sistemas de respuesta de emergencia (los procedimientos y las inspecciones no son IPLs).

### B.18.5 Resultados

Se deben dar recomendaciones sobre todos los controles adicionales y la eficacia de estos controles en la reducción del riesgo.

El LOPA es una de las técnicas utilizadas para la evaluación del SIL cuando se tratan sistemas relacionados con la seguridad o dotados de medios para medirla.

### B.18.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- requiere menos tiempo y recursos que un análisis de árbol de fallas o una evaluación del riesgo totalmente cuantitativa, pero es más riguroso que los juicios subjetivos cualitativos;
- ayuda a identificar y dirigir recursos sobre las capas de protección más críticas;
- identifica operaciones, sistemas y procesos para los que no existe protección suficiente;
- está enfocado a las consecuencias más serias.

Las limitaciones incluyen:

- El LOPA se enfoca sobre un par causa-consecuencia y un escenario en un momento dado. Las interacciones complejas entre riesgos o entre controles no están cubiertas;
- los riesgos cuantificados pueden no contabilizar para las fallas en modo común;
- el LOPA no se aplica a escenarios muy complejos donde existen muchos pares de causa-consecuencia o donde existe una variedad de consecuencias que afectan a partes interesadas diferentes.

### B.18.7 Documentos de referencia

IEC 61508 (todas las partes) *Seguridad funcional de los sistemas eléctricos/electrónicos/electrónicos programables relacionados con la seguridad.*

IEC 61511 *Seguridad funcional - Sistemas instrumentados de seguridad para el sector de la industria de procesos.*

## B.19 Análisis del árbol de decisiones

### B.19.1 Presentación

Un árbol de decisiones presenta decisiones alternativas y resultados de una manera secuencial que tiene en cuenta resultados inciertos. Es similar a un árbol de eventos en que comienza a partir de un evento iniciador o de una decisión inicial, y modelos de diferentes caminos y consecuencias como un resultado de eventos que pueden ocurrir, y en que se pueden tomar diferentes decisiones.

### B.19.2 Utilización

Un árbol de decisiones se utiliza para gestionar los riesgos del proyecto y en otras circunstancias para ayudar a seleccionar la mejor línea de conducta cuando existe incertidumbre. La presentación gráfica también puede ayudar a comunicar razones para tomar las decisiones.

### B.19.3 Elementos de entrada

Un plan de proyecto con puntos de decisión. La información sobre posibles resultados de las decisiones y sobre la probabilidad de eventos que podrían afectar a las decisiones.

### B.19.4 Proceso

Un árbol de decisiones comienza con una decisión inicial, por ejemplo proceder con el proyecto A en vez de con el proyecto B. Como los dos proyectos anteriores son hipotéticos, se producen eventos diferentes y será necesario tomar diferentes decisiones previsibles. Estas se presentan en formato de árbol, similar al árbol de eventos. La probabilidad de los eventos se puede estimar junto con los costos o la utilidad del resultado final del camino seguido.

La información concerniente al mejor camino de decisión es lógicamente la que produce el valor previsto más alto, calculado como el producto de todas las probabilidades condicionales a lo largo del camino y el valor de la consecuencia.

### B.19.5 Resultados

Los resultados incluyen:

- un análisis lógico del riesgo, presentando las diferentes opciones que se pueden tomar;
- un cálculo del valor esperado de cada posible camino a seguir.

### B.19.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- proporcionan una presentación gráfica clara de los detalles de un problema de decisión;
- permiten calcular el mejor camino a seguir en una situación.

Las limitaciones incluyen:

- los árboles de decisiones muy grandes pueden llegar a ser demasiado complejos para una comunicación fácil con otras partes;
- puede existir una tendencia a simplificar en exceso la situación, de manera que se pueda presentar como un diagrama en árbol.

## B.20 Análisis de la fiabilidad humana (HRA)

### B.20.1 Presentación

El análisis de la fiabilidad humana (HRA) se ocupa del impacto de las personas sobre el rendimiento del sistema, y se puede utilizar para evaluar la influencia de los errores humanos en el sistema.

Muchos procesos pueden ser objeto de errores humanos, especialmente cuando el tiempo disponible para que el operador tome decisiones es muy corto. La probabilidad de que los problemas se desarrollen suficientemente para convertirse en problemas serios puede ser pequeña. Sin embargo, a veces las acciones humanas serán la única defensa para prevenir que una falla inicial progrese hasta convertirse en un accidente.

La importancia de la HRA ha sido ilustrada por varios accidentes en los que errores humanos críticos han contribuido a una secuencia catastrófica de eventos. Tales accidentes eran avisos contra evaluaciones del riesgo que estaban enfocadas únicamente a los elementos materiales y lógicos de un sistema. Estos accidentes ilustran los peligros de ignorar la posibilidad de la contribución de los errores humanos. Además, las HRAs son útiles para resaltar errores que pueden dificultar la productividad y para revelar caminos donde estos errores y otras fallas (hardware y software) pueden ser *recuperados* por los operadores humanos y por el personal de mantenimiento.

### B.20.2 Utilización

La HRA se puede utilizar cualitativa o cuantitativamente. De manera cualitativa se utiliza para identificar el potencial de errores humanos y sus causas, de forma que se pueda reducir la probabilidad de error. La HRA cuantitativa se utiliza para proporcionar datos sobre fallas humanas en el FTA o en otras técnicas.

### B.20.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada a la HRA incluyen:

- información para definir tareas que deben ser realizadas por personas;
- experiencia de los tipos de error que se producen en la práctica y el potencial de error;
- conocimientos técnicos sobre errores humanos y su cuantificación.

### B.20.4 Proceso

El proceso de la HRA es el siguiente:

- Definición del problema, ¿qué tipos de implicancias humanas se han de investigar/evaluar?
- Análisis de la tarea, ¿cómo se realizará la tarea y qué tipo de ayudas serán necesarias para apoyar el rendimiento?
- Análisis de errores humanos, ¿cómo puede fallar el rendimiento de la tarea: qué errores pueden ocurrir y cómo se pueden recuperar?
- Representación, ¿cómo estos errores o fallas en el rendimiento de la tarea se pueden integrar con otros eventos materiales, lógicos y ambientales para permitir que se puedan calcular las probabilidades de falla del sistema general?
- Filtrado, ¿existen algunos errores o tareas que no requieren una cuantificación detallada?

- Cuantificación, ¿cuál es la probabilidad de errores y de fallas individuales de las tareas?
- Evaluación del impacto, ¿qué errores o tareas son más importantes, es decir, cuales son las que tienen la mayor contribución a la fiabilidad o al riesgo?
- Reducción de errores, ¿cómo se puede conseguir la fiabilidad humana más alta?
- Documentación, ¿qué detalles de la HRA es necesario documentar?

En la práctica, el proceso de la HRA se realiza escalonadamente, aunque algunas veces con partes (por ejemplo, análisis de tareas e identificación de errores) que se realizan en paralelo con alguna otra.

#### B.20.5 Resultados

Los resultados incluyen:

- una lista de los errores que pueden ocurrir y los métodos con los que se pueden reducir - preferiblemente mediante rediseño del sistema;
- los modos de error, los tipos de error, las causas y la consecuencias;
- una evaluación cualitativa o cuantitativa del riesgo planteada por los errores.

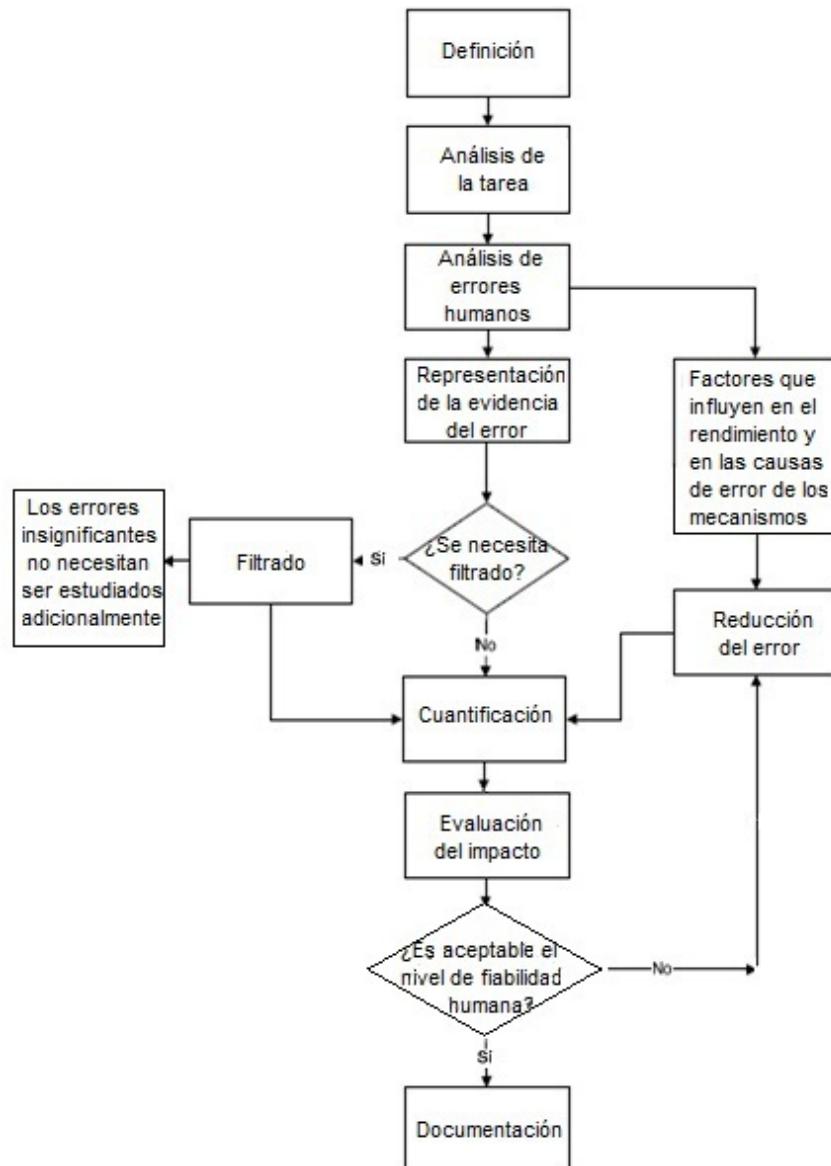
#### B.20.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de la HRA incluyen:

- la HRA proporciona un mecanismo formal para incluir los errores humanos en consideración de los riesgos asociados con sistemas en los que con frecuencia las personas juegan un papel importante;
- la consideración formal de los modos y mecanismos de los errores humanos pueden ayudar a reducir la probabilidad de fallas debido a errores.

Las limitaciones incluyen:

- la complejidad y variabilidad de las personas, que hacen la definición de los modos de falla simples y dificultan la probabilidad;
- muchas actividades de las personas no tienen un modo de pasa/no pasa simple. La HRA tiene dificultades al tratar fallas parciales o fallas de calidad o de toma de decisiones deficiente.



IEC 2068/09

**Figura B.7 - Ejemplo de evaluación de la fiabilidad humana****B.21 Análisis bow tie<sup>3)</sup>****B.21.1 Presentación**

El análisis bow tie es un método esquemático sencillo para describir y analizar los caminos de un riesgo desde las causas hasta las consecuencias. Se puede considerar que es una combinación del pensamiento de un árbol de fallas que analiza la causa de un evento (representado por el nudo de un corbatín) y un árbol de eventos que analiza las consecuencias. Sin embargo, el enfoque del diagrama bow tie centra en las barreras entre las causas y el riesgo, y el riesgo y las consecuencias. Los diagramas bow tie se pueden elaborar a partir del árbol de fallas y del árbol de eventos, pero con más frecuencia se obtienen directamente de una sesión de tormenta de ideas.

3) El análisis bow tie es también conocido como *Análisis de pajarita*, *Análisis de mariposa*, *Análisis de nudo de corbata*, *Análisis de corbatín* o *Análisis corbata humita*.

## B.21.2 Utilización

El análisis bow tie se utiliza para presentar un riesgo mostrando una gama de causas y consecuencias posibles. Se utiliza cuando la situación no justifica la complejidad de un análisis de árbol de fallas completo o cuando se trata más de asegurar que existe una barrera o control para cada camino de falla. Este análisis es útil cuando existen caminos independientes y claros que trata la falla.

Con frecuencia, el análisis bow tie es más fácil de entender que los árboles de fallas y de eventos, y por ello puede ser una herramienta de comunicación útil cuando el análisis se obtiene mediante la utilización de técnicas más complejas.

## B.21.3 Elementos de entrada

Se requiere la comprensión de la información sobre las causas y consecuencias de un riesgo y de las barreras y controles que pueden prevenir, mitigar o estimular el riesgo.

## B.21.4 Proceso

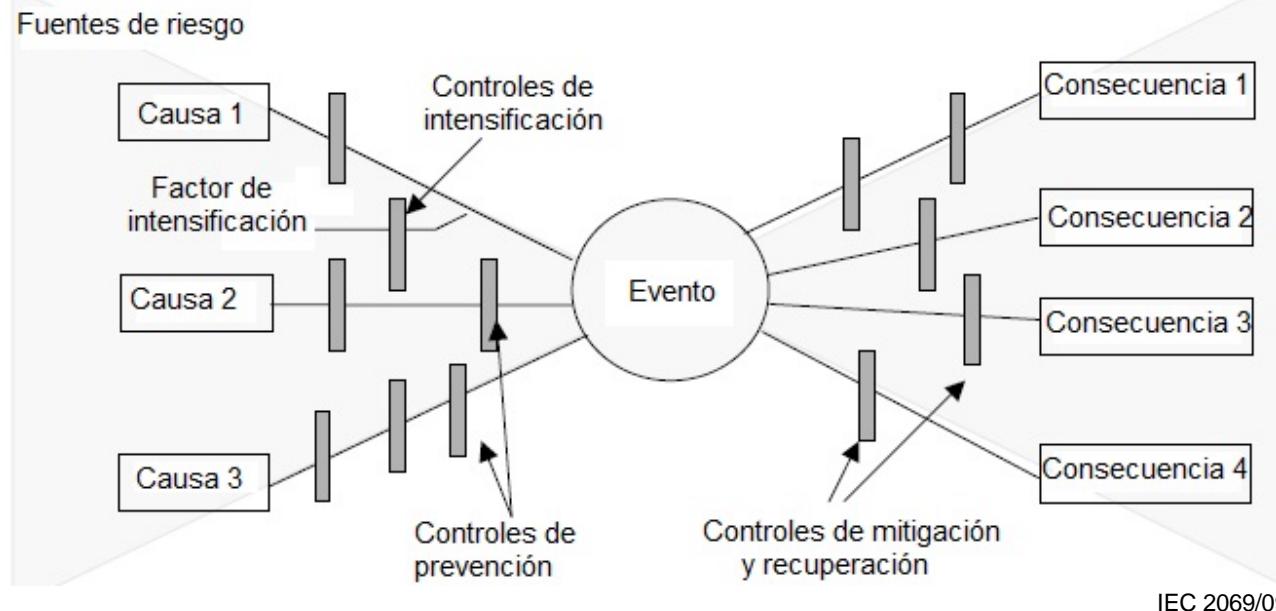
El análisis bow tie se elabora de la manera siguiente:

- a) Mediante análisis se identifica un riesgo particular y se presenta como el nudo central de un corbatín
- b) Se listan las causas del evento considerando los orígenes del riesgo (o peligros en un contexto de seguridad).
- c) Se identifica el mecanismo mediante el cual el origen del riesgo conduce al evento crítico.
- d) Se trazan las líneas entre cada causa y el evento, formando el lado izquierdo del diagrama bow tie. Los factores que podrían llevar a una intensificación se pueden identificar e incluir en el diagrama.
- e) Las barreras que deberían impedir que cada causa conduzca a consecuencias no deseadas se pueden representar como barras verticales a través de la línea. Cuando existan factores que podrían dar lugar a que se produzca una intensificación, también se pueden representar las barreras contra la intensificación. El enfoque se puede aplicar para consecuencias positivas cuando las barras reflejen “controles” que estimulen la generación del evento.
- f) En el lado derecho del diagrama bow tie se identifican las diferentes consecuencias posibles del riesgo y se trazan las líneas radiales que unen el evento del riesgo con cada consecuencia posible.
- g) Las barreras a las consecuencias se representan como barras que cruzan las líneas radiales. El enfoque se puede aplicar para consecuencias positivas cuando las barras reflejen “controles”, que apoyen la generación de consecuencias.
- h) Las funciones de gestión que soportan controles (tales como formación e inspección) se pueden mostrar bajo el diagrama bow tie y unidas a sus controles respectivos.

Algun nivel de cuantificación de un diagrama bow tie puede ser posible cuando los caminos son independientes, la probabilidad de una consecuencia o resultado particular es conocida, y la eficacia de un control se puede estimar mediante un número. Sin embargo, en muchas situaciones, los caminos y las barreras no son independientes y los controles pueden ser de procedimiento y por tanto la efectividad no es clara. Con frecuencia, la cuantificación se consigue de forma más apropiada aplicando análisis FTA y ETA.

## B.21.5 Resultados

El resultado es un diagrama sencillo que muestra los caminos del riesgo principal y las barreras colocadas para impedir o mitigar las consecuencias no deseadas o estimular y promover las consecuencias deseadas.



IEC 2069/09

**Figura B.8 - Ejemplo de diagrama bow tie para consecuencias no deseadas**

### B.21.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas del análisis bow tie:

- es simple de comprender y proporciona una clara representación gráfica del problema;
- enfoca su atención sobre los controles que se supone están colocados para prevención y mitigación y sobre sus consecuencias;
- se puede utilizar para consecuencias deseables;
- no es necesario un alto nivel de conocimientos técnicos para utilizarlo.

Las limitaciones incluyen:

- no se puede representar donde se producen múltiples causas simultáneamente que origina consecuencias (es decir, cuando existen puertas Y (puerta lógica AND) en un árbol de fallas situadas en el lado izquierdo del nudo);
- puede simplificar al máximo situaciones complejas, en particular cuando se trata de conseguir la cuantificación.

### B.22 Mantenimiento centrado en la fiabilidad

#### B.22.1 Presentación

El mantenimiento centrado en la fiabilidad (RCM) es un método para identificar las políticas que se deberían implementar para gestionar las fallas de manera que se obtenga de forma eficiente y efectiva la seguridad requerida, la disponibilidad y economía de funcionamiento para todos los tipos de equipos.

El RCM es ahora una metodología probada y aceptada que se utiliza en una amplia gama de industrias.

El RCM proporciona un proceso de decisión para identificar requisitos de mantenimiento preventivo aplicables y eficaces para los equipos, de acuerdo con las consecuencias de seguridad, operacionales y económicas de fallas identificables, y el mecanismo de degradación responsable de esas fallas. El resultado final de trabajar a lo largo de todo el proceso es un juicio sobre la necesidad de realizar una tarea de mantenimiento u otras acciones tales como cambios operacionales. La norma IEC 60300-3-11 proporciona detalles relativos a la utilización y aplicación del RCM.

### B.22.2 Utilización

Todas las tareas se basan en la seguridad de las personas y del medioambiente, y en el interés operacional y económico. Sin embargo, se debería indicar que los criterios considerados dependerán de la naturaleza del producto y de su aplicación. Por ejemplo, un proceso de producción necesitará ser viable económicamente, y puede ser sensible a consideraciones ambientales estrictas, mientras que un artículo de un equipo de defensa debería ser útil operacionalmente, pero puede tener unos criterios de seguridad, económicos y ambientales menos rigurosos. Los beneficios más grandes se pueden conseguir mediante la elección de objetivos del análisis dirigidos hacia donde las fallas tuviesen efectos de seguridad, ambientales, económicos u operacionales más serios.

El RCM se utiliza para asegurar que se realiza un mantenimiento aplicable y efectivo, y que generalmente se aplica durante la fase de diseño y de desarrollo y después se implanta durante las fases de funcionamiento y mantenimiento.

### B.22.3 Elementos de entrada

La aplicación con éxito del RCM exige un buen conocimiento del equipo y de la estructura, del entorno operacional y de los sistemas, subsistemas y artículos de equipo asociados, así como de las fallas posibles y de las consecuencias de estas fallas.

### B.22.4 Proceso

Las etapas básicas de un programa RCM son las siguientes:

- iniciación y planificación;
- análisis de fallas funcionales;
- selección de la tarea;
- implementación;
- mejora continua.

El RCM se basa en el riesgo ya que sigue las etapas básicas de la evaluación del riesgo. El tipo de evaluación del riesgo es un análisis de modos y efectos de fallas y de la criticidad (FMECA), pero requiere un enfoque específico de análisis cuando se utiliza en este contexto.

La identificación del riesgo está enfocada a situaciones en que las fallas potenciales se pueden eliminar y reducir en la frecuencia y/o en las consecuencias, mediante la realización de tareas de mantenimiento. Se realiza para identificar las funciones requeridas y las normas de funcionamiento y las fallas del equipo y de componentes que pueden interrumpir estas funciones.

El análisis de riesgo consiste en la estimación de la frecuencia de cada falla sin que se haya realizado mantenimiento. Las consecuencias se establecen definiendo los efectos de la falla. Una matriz de riesgo que combina la frecuencia de la falla y sus consecuencias permite establecer categorías de niveles de riesgo.

Después se realiza la valoración del riesgo seleccionando la política de gestión de la falla apropiada para cada modo de falla.

El proceso RCM completo se documenta de forma extensiva para futuras consultas y revisiones. La recolección de los datos relativos a la falla y al mantenimiento permite el monitoreo de los resultados y la implementación de mejoras.

### B.22.5 Resultados

El RCM proporciona una definición de tareas de mantenimiento tales como el monitoreo de la condición, la renovación programada, la sustitución programada, la localización de fallas o el mantenimiento no preventivo. Otras posibles acciones que pueden resultar del análisis son el rediseño, los cambios a incluir en los procedimientos de funcionamiento o de mantenimiento o de formación adicional. Después se identifican los intervalos de las tareas y los recursos que se necesitan.

### B.22.6 Documentos de referencia

IEC 60300-3-11 *Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance.*

## B.23 Análisis de fugas (SA) y análisis del circuito de fugas (SCA)

### B.23.1 Presentación

El análisis de fugas (SA) es una metodología para identificar errores de diseño. Una condición de fuga es una condición de hardware, software o integrada latente, que puede provocar un evento no deseado o que puede inhibir un evento deseado, y que no es causada por falla de componentes. Estas condiciones se caracterizan por su naturaleza aleatoria y por la facilidad para escapar de la detección durante los ensayos más rigurosos del sistema normalizado. Las condiciones de fuga pueden dar lugar a un funcionamiento incorrecto, a la pérdida de disponibilidad del sistema, a retrasos del programa, o incluso a lesiones o la muerte de personas.

### B.23.2 Utilización

El análisis del circuito de fuga (SCA) fue desarrollado por la NASA en los últimos años de la década de 1960 para verificar la integridad y la funcionalidad de sus diseños. Ha servido como una herramienta útil para descubrir caminos no intencionados en circuitos eléctricos, y para ayudar a imaginar soluciones para aislar cada función. Sin embargo, como la tecnología avanza, las herramientas para el análisis de los circuitos de fuga también han tenido que avanzar. El análisis de fugas incluye e incluso supera la cobertura del análisis del circuito de fuga. Puede localizar problemas de hardware y de software utilizando cualquier tecnología. Las herramientas de análisis de fugas pueden integrar diversos análisis tales como los de árboles de falla, análisis de modos y efectos de fallas (FMEA), estimaciones de fiabilidad, etc., en un único análisis que ahorre tiempo y costos del proyecto.

### B.23.3 Elementos de entrada

El análisis de fugas es único desde el proceso de diseño, ya que utiliza diferentes herramientas (árboles de red, bosques, e indicios o preguntas para ayudar al analista a identificar las condiciones de fuga) para descubrir un tipo de problema específico. Los árboles de red y los bosques son agrupaciones topológicas del sistema actual. Cada árbol de red representa una subfunción y muestra todas las entradas que pueden afectar a la salida de la subfunción. Los bosques se forman combinando árboles de red que contribuyen a una salida particular del sistema. Un bosque correcto muestra una salida del sistema en función de todas las entradas relacionadas. Estas, junto con otras, pasan a ser las entradas para el análisis.

#### B.23.4 Proceso

Las etapas básicas para realizar un análisis de fugas son:

- la preparación de datos;
- la construcción del árbol de red;
- la evaluación de los caminos de la red;
- las recomendaciones finales y el informe.

#### B.23.5 Resultados

Un circuito de fuga es un camino no previsto o un flujo lógico dentro de un sistema que, bajo determinadas condiciones, puede iniciar una función no deseada o inhibir una función deseada. El camino puede consistir en elementos materiales, lógicos, acciones de operador, o combinaciones de estos elementos. Los circuitos de fuga no son el resultado de fallas materiales, pero son condiciones latentes, diseñadas inadvertidamente en el sistema, codificadas en programas del software, o provocadas por un error humano. Existen cuatro categorías de circuitos de fuga:

- a) caminos de fuga: caminos no previstos a lo largo de los cuales la corriente, la energía, o flujos de secuencia lógica discurren en una dirección imprevista;
- b) cadencia de fuga: eventos que ocurren en una secuencia imprevista o conflictiva;
- c) indicaciones de fuga: presentaciones ambiguas o falsas del sistema funcionando en condiciones que pueden hacer que el sistema o un operador realice una acción no deseada;
- d) etiquetas de fuga: etiquetado incorrecto o impreciso de funciones del sistema, por ejemplo, entradas del sistema, controles, bus de sistema de visualización, que pueden hacer que un operador aplique un estímulo incorrecto al sistema.

#### B.23.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas incluyen:

- el análisis de fugas es bueno para identificar errores de diseño;
- este análisis funciona mejor cuando se aplica conjuntamente con estudios de peligros y de operatividad (HAZOP);
- es muy bueno para tratar sistemas que tengan múltiples estados, tales como planta por lotes o semilotes.

Las limitaciones pueden incluir:

- que el proceso sea algo diferente dependiendo de si se aplica a circuitos eléctricos, plantas de proceso, equipo mecánico o software;
- el método es dependiente de que se establezcan árboles de red correctos.

## B.24 Análisis Markov

### B.24.1 Presentación

El análisis Markov se aplica cuando el estado futuro de un sistema depende únicamente de su estado actual. Por lo general, se aplica para analizar sistemas reparables que pueden existir en múltiples estados, y el empleo de un análisis en bloque de fiabilidad sería inapropiado para analizar adecuadamente el sistema. El método se puede ampliar a sistemas más complejos mediante la utilización de procesos Markov de nivel más elevado, y sólo se restringe por modelos, cálculos matemáticos y supuestos.

El proceso de análisis Markov es una técnica cuantitativa, y puede ser discontinua (aplicando probabilidades de cambio entre los estados) o continua (aplicando tasas de cambio a través de los estados).

Mientras un análisis Markov se puede realizar manualmente, la naturaleza de las técnicas se presta por sí misma al empleo de programas informáticos, muchos de los cuales están disponibles en el mercado.

### B.24.2 Utilización

La técnica del análisis Markov se puede aplicar sobre diversas estructuras del sistema, con o sin reparación, incluyendo:

- componentes independientes instalados en paralelo;
- componentes independientes instalados en serie;
- sistema de carga compartida;
- sistema en espera, incluyendo el caso en que se pueda producir una falla de conmutación;
- sistemas degradados.

La técnica del análisis Markov también se puede aplicar para calcular la disponibilidad, incluyendo el tener en cuenta los componentes de repuesto para reparaciones.

### B.24.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada esenciales para un análisis Markov son las siguientes:

- lista de los diversos estados en que el sistema, subsistema o componente se puede encontrar [por ejemplo, totalmente operativo, parcialmente operativo (es decir, en un estado degradado), estado de falla, etc.];
- un conocimiento claro de las posibles transiciones que se necesitan para modelarlo. Por ejemplo, la falla de un neumático de automóvil necesita tener en consideración el estado de la rueda de repuesto y por tanto la frecuencia de inspección de ésta;
- régimen de cambio de un estado a otro, representado normalmente por una tasa de cambio entre estados de eventos discontinuos, o el régimen de falla ( $\lambda$ ) y/o el régimen de reparación ( $\mu$ ) para eventos continuos.

### B.24.4 Proceso

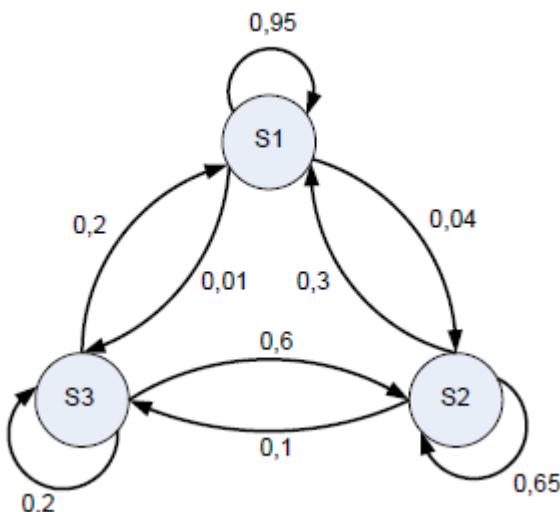
La técnica del análisis Markov se centra alrededor del concepto de *estados*, por ejemplo *disponible* y *de falla*, así como en la transición entre estos dos estados en el tiempo basada en una probabilidad de cambio constante. Para describir la transición entre cada uno de los estados se utiliza una matriz de probabilidad de transición estocástica que permite el cálculo de los diversos resultados.

Para ilustrar la técnica del análisis Markov, se considera un sistema complejo que sólo pueda estar en tres estados: de funcionamiento, degradado y de falla, que se definen como estado S1, S2 y S3 respectivamente. Cada día, el sistema se encuentra en uno de estos tres estados. La Tabla B.2 es un ejemplo que muestra la probabilidad de que mañana el sistema se encuentre en el estado  $S_i$  donde  $i$  puede ser 1, 2 ó 3.

**Tabla B.2 - Matriz Markov**

		Estado de hoy		
		S1	S2	S3
Estado de mañana	S1	0,95	0,3	0,2
	S2	0,04	0,65	0,6
	S3	0,01	0,05	0,2

Esta disposición de probabilidades se denomina matriz Markov o matriz de transición. Se debe resaltar que la suma de cada una de las columnas es 1 y que son la suma de todas las salidas posibles en cada caso. El sistema también se puede representar mediante un diagrama Markov, donde los círculos representan los estados, y las flechas representan la transición, junto con la probabilidad vinculada.



IEC 2070/09

**Figura B.9 - Ejemplo de diagrama Markov**

Normalmente las flechas de un estado a sí mismo no se muestran, pero en estos ejemplos se muestran para que el diagrama se vea completo.

Si  $P_i$  representa la probabilidad de encontrar el sistema en el estado  $i$  para  $i = 1, 2, 3$ , entonces las ecuaciones simultáneas a resolver son:

$$P_1 = 0,95 P_1 + 0,30 P_2 + 0,20 P_3 \quad (\text{B.1})$$

$$P_2 = 0,04 P_1 + 0,65 P_2 + 0,60 P_3 \quad (\text{B.2})$$

$$P_3 = 0,01 P_1 + 0,05 P_2 + 0,20 P_3 \quad (\text{B.3})$$

Estas tres ecuaciones no son independientes y no resolverán las tres incógnitas. Se debería utilizar la ecuación siguiente y descartar una de las ecuaciones anteriores.

$$1 = P_1 + P_2 + P_3 \quad (\text{B.4})$$

La solución es 0,85, 0,13 y 0,02 para los respectivos estados 1, 2 y 3 el sistema está totalmente operativo durante el 85% del tiempo, en estado degradado durante el 13% del tiempo y en estado de falla durante el 2% del tiempo.

Se consideran dos elementos que funcionen en paralelo y se requiere que estén operativos para que el sistema funcione. Los elementos pueden estar en estado operativo o de falla y la disponibilidad del sistema depende del estado de los elementos.

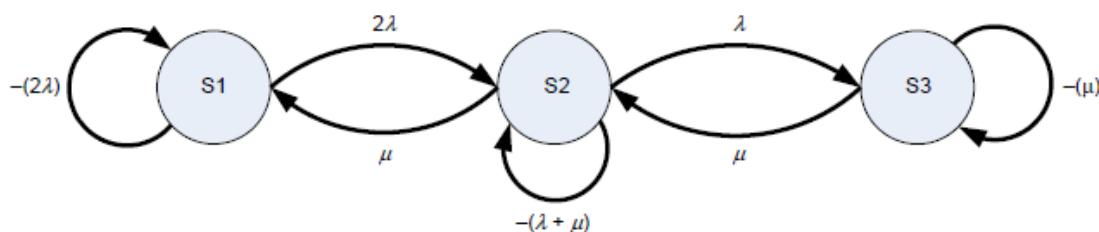
Los estados se pueden considerar como:

Estado 1: Los dos elementos están funcionando correctamente.

Estado 2: Un elemento ha fallado y está siendo reparado, y el otro elemento está funcionando.

Estado 3: Los dos elementos han fallado y uno de ellos está siendo reparado.

Si se asume que el régimen de falla continuo de cada elemento es  $\lambda$  y que el régimen de reparación es  $\mu$ , el diagrama de transición de estado es el siguiente:



IEC 2071/09

**Figura B.10 - Ejemplo de diagrama de transición de estado**

Se indica que la transición del estado 1 al estado 2 es  $2\lambda$  como consecuencia de la falla de uno de los dos elementos y que el sistema pasará al estado 2.

siendo  $P_i(t)$  la probabilidad de estar en un estado inicial  $i$  en el momento  $t$ , y

siendo  $P_i(t + \delta t)$  la probabilidad de estar en un estado final en el momento  $t + \delta t$ .

La matriz de la probabilidad de transición pasaría a ser:

**Tabla B.3 - Matriz Markov final**

		Estado inicial		
		$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$
Estado final	$P_1(t + \delta t)$	$-2\lambda$	$\mu$	0
	$P_2(t + \delta t)$	$2\lambda$	$-(\lambda + \mu)$	$\mu$
	$P_3(t + \delta t)$	0	$\lambda$	$-\mu$

Es necesario indicar que el valor cero se produce y no es posible pasar del estado 1 al estado 3 o del estado 3 al estado 1. También, que las columnas suman cero cuando se especifican tasas.

Las ecuaciones simultáneas pasan a ser:

$$dP1/dt = -2\lambda P1(t) + \mu P2(t) \quad (\text{B.5})$$

$$dP2/dt = 2\lambda P1(t) + -(\lambda + \mu) P2(t) + \mu P3(t) \quad (\text{B.6})$$

$$dP3/dt = 2\lambda P2(t) + -\mu P3(t) \quad (\text{B.7})$$

Por simplicidad, se asumirá que la disponibilidad requerida es la disponibilidad en estado estable.

Cuando  $\delta t$  tiende a infinito,  $dP_i/dt$  tenderá a cero y las ecuaciones son más fáciles de resolver. También se debe utilizar la ecuación adicional mostrada anteriormente como ecuación (B.4).

Ahora la ecuación  $A(t) = P1(t) + P2(t)$  se puede expresar como:

$$A = P1 + P2$$

Por tanto,  $A = (\mu^2 + 2\lambda\mu)/(\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2)$

#### B.24.5 Resultados

Los resultados de un análisis Markov son las diversas probabilidades de que el sistema esté en los diversos estados, y por tanto constituye una estimación de las probabilidades de falla y/o de la disponibilidad, uno de los componentes esenciales de un sistema.

#### B.24.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas de un análisis Markov incluyen:

- la posibilidad de calcular las probabilidades de sistemas con una capacidad de reparación y diversos estados degradados.

Las limitaciones de un análisis Markov incluyen:

- el hecho de asumir probabilidades constantes de cambio de estado; de falla o de reparaciones;
- todos los eventos son independientes estadísticamente ya que los estados futuros son independientes de todos los estados pasados, excepto con el estado inmediatamente anterior;
- las necesidades de conocer todas las probabilidades de cambio de estado;
- el conocimiento de las operaciones matriciales;
- los resultados son difíciles de comunicar al personal no técnico.

#### B.24.7 Comparaciones

El análisis Markov es similar al análisis Petri-Net en cuanto a que puede realizar monitoreo y observar los estados del sistema, aunque difiere en que el análisis Petri-Net puede existir en múltiples estados al mismo tiempo.

## B.24.8 Documentos de referencia

IEC 61078	<i>Técnicas de análisis de la confiabilidad. Método del diagrama de bloques de la fiabilidad y métodos booleanos.</i>
IEC 61165	<i>Application of Markov techniques.</i>
ISO/IEC 15909 (todas las partes)	<i>Software and systems engineering - High-level Petri nets.</i>

## B.25 Simulación de Monte Carlo

### B.25.1 Presentación

Muchos sistemas son demasiado complejos a causa de los efectos de la incertidumbre, por lo que se deben modelar aplicando técnicas analíticas, pero se pueden evaluar considerando las entradas como variables aleatorias y realizando un número N de cálculos (también llamados simulaciones) mediante el muestreo de los elementos de entrada, con objeto de obtener N posibles consecuencias del resultado deseado.

Este método se puede aplicar a situaciones complejas que serían difíciles de entender y resolver mediante un método analítico. Se pueden desarrollar sistemas que utilicen hojas de cálculo y otras herramientas convencionales, aunque ya se encuentran disponibles herramientas más sofisticadas para aplicarlas a requisitos más complejos, muchas de las cuales son relativamente económicas. Cuando la técnica se desarrolló en principio, el número de iteraciones requeridas para las simulaciones de Monte Carlo hacía que el proceso fuese lento y que consumiera mucho tiempo, pero los avances en la tecnología informática y en los desarrollos teóricos, tales como el muestreo del hípercubo Latino, han hecho que el tiempo de proceso sea casi insignificante para muchas aplicaciones.

### B.25.2 Utilización

La simulación de Monte Carlo proporciona un medio para evaluar el efecto de la incertidumbre en una amplia gama de situaciones de los sistemas. Normalmente, se utiliza para evaluar la gama de posibles resultados y la frecuencia relativa de valores en esta gama de medidas cuantitativas de un sistema, tales como costos, duración, capacidad de tratamiento, demanda y medidas similares. La simulación de Monte Carlo se puede utilizar para dos fines diferentes:

- propagación de la incertidumbre sobre modelos analíticos convencionales;
- cálculo de probabilidades cuando no se puedan emplear técnicas analíticas.

### B.25.3 Elemento de entrada

Los elementos de entrada a una simulación de Monte Carlo son un buen modelo del sistema, y la información sobre los tipos de elementos de entrada, las fuentes de incertidumbre que se han de representar, y los resultados que se requieren. Los datos de entrada con incertidumbre se representan como variables aleatorias con distribuciones que están más o menos dispersas según el nivel de incertidumbres. Para este fin se utilizan frecuentemente distribuciones uniformes, triangulares, normales y normales logarítmicas.

## B.25.4 Proceso

El proceso es como sigue:

- Se define un modelo o algoritmo que represente de la forma más exacta posible el comportamiento del sistema que se está estudiando.
- El modelo se hace funcionar múltiples veces utilizando números aleatorios para producir salidas del modelo (simulaciones del sistema); cuando la aplicación consista en modelar los efectos de la incertidumbre, el modelo tendrá la forma de una ecuación que proporcione la relación entre parámetros de entrada y una salida. Los valores seleccionados para los elementos de entrada se toman de distribuciones de probabilidad apropiadas que representen la naturaleza de la incertidumbre en esos parámetros.
- En uno u otro caso, con un ordenador se hacen múltiples iteraciones del modelo (con frecuencia hasta 10 000 veces) con entradas diferentes y se obtienen múltiples salidas. Éstas se pueden procesar utilizando técnicas estadísticas convencionales para obtener informaciones tales como valores medios, desviación típica, intervalos de confianza.

A continuación se proporciona un ejemplo de una simulación.

Se considera el caso de los elementos que funcionan en paralelo y el sistema solo necesita que funcione uno de ellos. El primer elemento tiene una fiabilidad de 0,9 y el otro de 0,8.

Se puede preparar una hoja de cálculo como las columnas siguientes:

**Tabla B.4 - Ejemplo de simulación Monte Carlo**

Número de simulación	Elemento 1		Elemento 2		
	Número aleatorio	¿Funciona?	Número aleatorio	¿Funciona?	Sistema
1	0,244 243	Sí	0,059 355	Sí	1
2	0,746 909	Sí	0,311 324	Sí	1
3	0,541 728	Sí	0,919 765	No	1
4	0,423 274	Sí	0,643 514	Sí	1
5	0,917 776	No	0,539 349	Sí	1
6	0,994 043	No	0,972 506	No	0
7	0,082 574	Sí	0,950 241	No	1
8	0,661 418	Sí	0,919 868	No	1
9	0,213 376	Sí	0,367 555	Sí	1
10	0,565 657	Sí	0,119 215	Sí	1

El generador aleatorio crea un número comprendido entre 0 y 1 que se utiliza para compararlo con la probabilidad de cada elemento, con objeto de determinar si el sistema es funcional. Justo con 10 iteraciones, no se debería esperar que el resultado de 0,9 sea un resultado preciso. El enfoque usual es trabajar con una calculadora para comparar el resultado total a medida que avanza la simulación, hasta conseguir el nivel de seguridad que se requiere. En este ejemplo, después de 20 000 iteraciones se obtuvo un resultado de 0,979 9.

El modelo anterior se puede ampliar de varias maneras. Por ejemplo:

- ampliando el propio modelo (considerando que el segundo elemento comienza a funcionar solo cuando el primer elemento falla);
- cambiando la probabilidad fijada a una variable (un buen ejemplo es la distribución triangular) cuando la probabilidad no se puede definir precisamente;
- utilizando regímenes de falla combinados con la selección del número aleatorio para obtener un tiempo de falla (con distribución exponencial, de Weibull, o de otro tipo adecuado) y transformación en tiempos de reparación.

Las aplicaciones incluyen, entre otras cosas, la evaluación de la incertidumbre en previsiones financieras, rendimiento de las inversiones, los costos de proyecto y pronóstico del programa de fabricación, las interrupciones del proceso económico y los requisitos de dotación de personal.

Las técnicas analíticas no pueden proporcionar resultados relevantes o cuando hay incertidumbre en los datos de entrada y así en los resultados.

### B.25.5 Resultados

Los resultados podrían ser un valor único, como se determinó en el ejemplo anterior, y también podría ser un resultado expresado como la distribución de probabilidad o de frecuencia, o podría ser la identificación de las funciones principales dentro del modelo que tiene el mayor impacto sobre el resultado.

Por lo general, se utilizará una simulación de Monte Carlo para evaluar la distribución completa de consecuencias que se producirán o las medidas claves de una distribución, tales como:

- la probabilidad de que se produzca una consecuencia definida;
- el valor de una consecuencia para el cual los responsables del problema tienen un determinado nivel de confianza que no se excederá o sobrepasará, unos costos que tienen menos de un 10% de posibilidad de que sean excedidos, o una duración que tienen un 80% de certeza de ser excedida.

Un análisis de las relaciones entre los elementos de entrada y los resultados puede arrojar luz sobre la importancia relativa de los factores en uso, e identificar objetivos útiles para los esfuerzos que influyen en la incertidumbre de los resultados.

### B.25.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de Monte Carlo son las siguientes:

- el método se puede acomodar, en principio, a cualquier distribución en una variable de entrada, incluyendo distribuciones empíricas obtenidas de observaciones de sistemas afines;
- los modelos son relativamente simples de desarrollar y se pueden ampliar a medida que se necesite;
- todas las influencias o relaciones que surjan en la realidad se pueden representar, incluyendo efectos sutiles tales como dependencias condicionales;
- se puede aplicar el análisis de sensibilidad para identificar influencias intensas y débiles;
- los modelos se pueden entender fácilmente dado que la relación entre los elementos de entrada y los resultados es transparente;

- hay disponibles modelos de comportamiento eficiente, tal como el Petri Nets (norma IEC 62551) que han demostrado ser muy válidos para los fines de simulación de Monte Carlo;
- proporciona una medida de la exactitud de un resultado;
- el software es fácil de obtener y relativamente económico.

Las limitaciones son las siguientes:

- la exactitud de las soluciones depende del número de simulaciones que se pueden realizar (esta limitación comienza a ser menos importante a causa de las velocidades crecientes de los ordenadores actuales);
- puede representar incertidumbres en parámetros para una distribución válida;
- los modelos grandes y complejos pueden desafiar al modelador y hacer difícil a las partes interesadas acoplarse con el proceso;
- la técnica puede no ponderar adecuadamente los eventos de elevadas consecuencias/baja probabilidad y por tanto no permitir que en el análisis se refleje un deseo de riesgo de la organización.

### B.25.7 Documentos de referencia

IEC 61649	<i>Weibull analysis.</i>
IEC 62551	<i>Analysis techniques for dependability - Petri net technique.</i>
ISO/IEC Guide 98-3:2008	<i>Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).</i>

## B.26 Estadísticas y redes Bayesianas

### B.26.1 Presentación

Las estadísticas Bayesianas se atribuyen al reverendo Tomas Bayes. Su premisa es que cualquier información ya conocida (la Previa) se puede combinar con mediciones ulteriores (la Posterior) para establecer una probabilidad global. El teorema de Bayes se pue expresa de una manera general como:

$$P(A / B) = \{P(A)P(B / A)\} / \sum_i P(B / E_i)P(E_i)$$

Donde:

la probabilidad de  $X$  se indica por  $P(X)$ ;

la probabilidad de  $X$  sobre la condición de que  $Y$  ha ocurrido se indica por  $P(X/Y)$ ; y

$E_i$  es el evento número  $i$ .

En su forma más simplificada se reduce a  $P(A / B) = \{P(A)P(B / A)\} / P(B)$

Las estadísticas Bayesianas difieren de las estadísticas clásicas en que no asumen que todos los parámetros de distribución son fijos, sino que estos parámetros son variables aleatorias. Una probabilidad Bayesiana se puede comprender fácilmente si se considera como un grado de creencia personal en un determinado evento, en oposición a la estadística clásica que se basa en la evidencia física. Como el enfoque Bayesiano se basa en la interpretación subjetiva de la probabilidad, proporciona una base fácil para pensar en decisiones y para el desarrollo de redes Bayesianas (o redes veraces, redes de opinión o redes Bayesianas).

Las redes Bayesianas utilizan un modelo gráfico para representar un conjunto de variables y sus relaciones de probabilidad. La red se compone de nudos que representan una variable aleatoria y de flechas que unen un nudo padre con un nudo hijo [donde un nudo padre es una variable que influye directamente sobre otra variable (hijo)].

### B.26.2 Utilización

En los últimos años ha aumentado y se ha extendido el empleo de la teoría y de las redes Bayesianas, en parte debido a su interés intuitivo y también a causa de la disponibilidad de programas de software para tratamiento informático. Las redes Bayesianas se utilizan en una amplia gama de temas: diagnóstico médico, modelación de imágenes, genética, reconocimiento de la voz, estudios económicos, exploración espacial y en los motores de búsqueda de gran potencia en la red utilizados actualmente. Estas redes se pueden valorar en cualquier área donde exista el requisito de investigar sobre variables desconocidas mediante la utilización de relaciones estructurales y de datos. Las redes Bayesianas se pueden utilizar para aprender las relaciones causales que proporcionan la comprensión del ámbito de un problema y predecir las consecuencias de la intervención.

### B.26.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada son similares a los de un modelo de Monte Carlo. Para una red Bayesiana, los ejemplos de los pasos a seguir incluyen lo siguiente:

- definir las variables del sistema;
- definir las uniones causales entre variables;
- especificar las probabilidades condicionales y la probabilidad;
- añadir la evidencia a la red;
- actualizar opiniones;
- sacar opiniones posteriores.

### B.26.4 Proceso

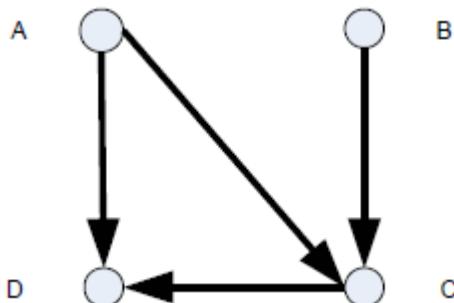
La teoría de Bayes se puede aplicar en una amplia variedad de temas. Este ejemplo considerará la creación de una tabla Bayes donde se utilizará un ensayo médico para determinar si el paciente tiene una enfermedad. La creencia antes de tomar el ensayo es que el 99% de la población no tiene esa enfermedad y que el 1% si la padece, es decir, la información Previa. La precisión del ensayo ha mostrado que el paciente tiene la enfermedad, el resultado del ensayo es positivo el 98% de las veces. También existe una probabilidad de que si no tiene la enfermedad, el resultado del ensayo será positivo el 10% de las veces. La tabla de Bayes proporciona la información siguiente:

**Tabla B.5 - Datos de la tabla de Bayes**

	Previa	Probabilidad	Producto	Posterior
Tiene enfermedad	0,01	0,98	0,009 8	0,090 1
No tiene enfermedad	0,99	0,10	0,099 0	0,909 9
Total	1	-	0,108 8	1

Aplicando la regla de Bayes, se determina el producto combinando la información previa y la probabilidad. La información posterior se obtiene dividiendo el valor del producto por el total del producto. El resultado muestra que un resultado de ensayo positivo indica que la información previa ha aumentado del 1% al 9%. Más importante aún, es que existe una gran posibilidad de que incluso con un ensayo positivo, es improbable que el paciente tenga la enfermedad. El examen de la ecuación  $(0,01 \times 0,98) / [(0,01 \times 0,98) + (0,99 \times 0,1)]$  muestra que el valor "no tiene enfermedad-resultado positivo" juega un importante papel en los valores posteriores.

Se considera la siguiente red de Bayes:



IEC 2072/09

**Figura B.11 - Muestra de red de Bayes**

Con las probabilidades condicionales previas definidas en las tabla siguientes, y utilizando la anotación de que Y indica positivo y N indica negativo, el positivo debería ser *tener la enfermedad* como anteriormente, o sería Alta y N sería Baja.

**Tabla B.6 - Probabilidades previas para los nudos A y B**

$P(A = Y)$	$P(A = N)$	$P(B = Y)$	$P(B = N)$
0,9	0,1	0,6	0,4

**Tabla B.7 - Probabilidades condicionales para el nudo C con el nudo A y el nudo B definidos**

<b>A</b>	<b>B</b>	$P(C = Y)$	$P(C = N)$
Y	Y	0,5	0,5
Y	N	0,9	0,1
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,7	0,3

**Tabla B.8 - Probabilidades condicionales para el nudo D con el nudo A y el nudo C definidos**

<b>A</b>	<b>C</b>	$P(D = Y)$	$P(D = N)$
Y	Y	0,6	0,4
Y	N	1,0	0,0
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,6	0,4

Para determinar la probabilidad posterior de  $P(A/D = N, C = Y)$ , primero es necesario calcular  $P(A, B/D = N, C = Y)$ .

Aplicando la regla de Bayes, el valor  $P(D/A, C) P(C/A, B) P(A) P(B)$  se determina como se indica a continuación, y la última columna muestra las probabilidades normalizadas cuyas sumas hasta 1 se obtienen en el ejemplo anterior (resultado redondeado).

**Tabla B.9 - Probabilidad posterior para los nudos A y B con el nudo D y el nudo C definidos**

A	B	$P(D/A, C) P(C/A, B) P(A) P(B)$	$P(A, B/D = N, C = Y)$
Y	Y	$0,4 \times 0,5 \times 0,9 \times 0,6 = 0,110$	0,4
Y	N	$0,4 \times 0,9 \times 0,9 \times 0,4 = 0,130$	0,48
N	Y	$0,8 \times 0,2 \times 0,1 \times 0,6 = 0,010$	0,04
N	N	$0,8 \times 0,7 \times 0,1 \times 0,4 = 0,022$	0,08

Para obtener  $P(A/D = N, C = Y)$ , es necesario asumir todos los valores de B.

**Tabla B.10 - Probabilidad posterior para el nudo A con el nudo D y nudo C definidos**

$P(A = Y/D = N, C = Y)$	$P(A = N/D = N, C = Y)$
0,88	0,12

Esto muestra que la probabilidad previa para  $P(A = N)$  ha aumentado desde 0,1 hasta una probabilidad posterior de 0,12, lo que solo supone un cambio pequeño. Por otro lado  $P(B = N/D = N, C = Y)$  ha cambiado desde 0,4 a 0,56, lo que supone un cambio más importante.

## B.26.5 Resultados

El enfoque Bayesiano se puede aplicar con la misma amplitud que las estadísticas clásicas con una amplia gama de resultados, por ejemplo, análisis de datos para obtener estimadores puntuales e intervalos de confianza. Su reciente popularidad está en relación con las redes de Bayes para obtener distribuciones posteriores. La representación gráfica de resultados proporciona un modelo fácil de comprender, y los datos se pueden modificar fácilmente para considerar las correlaciones y la sensibilidad de los parámetros.

## B.26.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas:

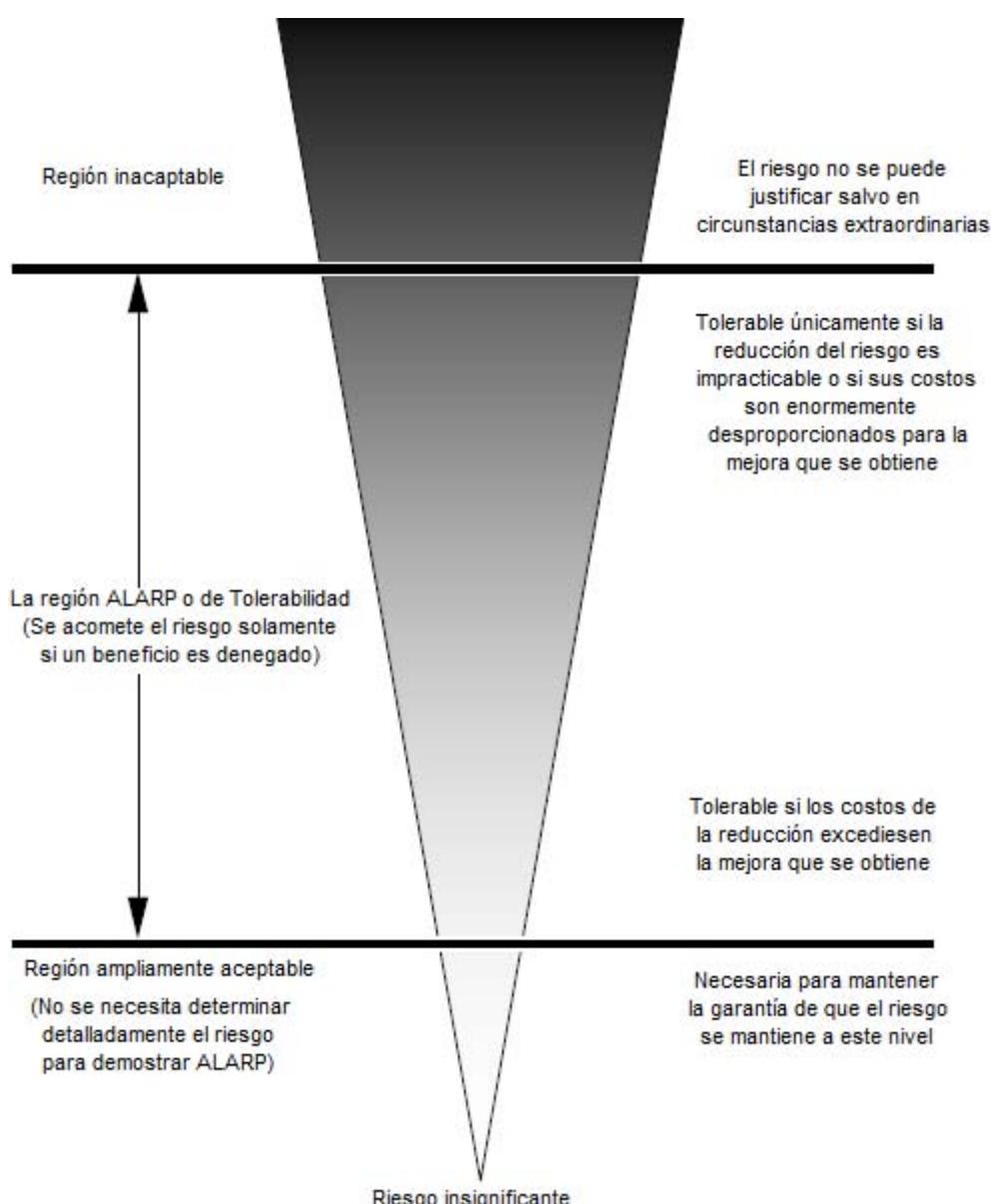
- todo lo que se necesita es el conocimiento sobre las distribuciones previas;
- los enunciados deductivos son fáciles de comprender;
- la regla de Bayes es todo lo que se requiere;
- proporciona un mecanismo para utilizar creencias subjetivas en un problema.

Limitaciones:

- el hecho de definir todas las interacciones en las redes Bayesianas para sistemas complejos es un asunto problemático;
- el enfoque Bayesiano necesita el conocimiento de una multitud de probabilidades condicionales que por lo general son proporcionadas por los juicios de expertos. Las herramientas de software solamente pueden proporcionar respuestas basadas en estas presunciones.

## B.27 Curvas FN

### B.27.1 Presentación



IEC 2073/09

**Figura B.12 - El concepto ALARP (*tan bajo como razonablemente sea posible*)**

Las curvas FN son una representación gráfica de la probabilidad de que los eventos causen un nivel especificado de perjuicios a una población determinada. La mayoría de las veces se refieren a la frecuencia de que se produzca un número dado de pérdidas.

Las curvas FN muestran la frecuencia acumulativa ( $F$ ) con la que  $N$  o más miembros de la población se verán afectados. Los valores elevados de  $N$  que se pueden dar con una frecuencia elevada  $F$  son de gran interés ya que social y políticamente pueden ser inaceptables.

### B.27.2 Utilización

Las curvas FN son una manera de representar los resultados de un análisis de riesgo. Muchos eventos tienen una alta probabilidad de dar un resultado de consecuencias limitadas, y una baja probabilidad de dar un resultado de consecuencias elevadas. Las curvas FN proporcionan una representación del nivel de riesgo, mediante una línea que describe esta gama, mejor que un punto único que represente un par de probabilidad-consecuencia.

Las curvas FN se pueden utilizar para comparar riesgos, por ejemplo, para comparar riesgos previsibles contra criterios definidos como una curva FN, o para comparar riesgos previsibles con datos procedentes de incidentes históricos, o con criterios de decisión (también expresados como una curva F/N).

Las curvas FN se pueden aplicar a diseños de sistemas o de procesos, o para la gestión de sistemas existentes.

### B.27.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada son:

- conjuntos de pares de probabilidad-consecuencia durante un período de tiempo dado;
- los datos de un análisis de riesgo cuantitativo que proporciona las probabilidades estimadas para números de pérdidas especificados;
- datos procedentes de registros históricos y de un análisis de riesgo cuantitativo.

### B.27.4 Proceso

Los datos disponibles se representan sobre un gráfico donde el número de pérdidas (hasta un nivel de perjuicio especificado, es decir, fallecimiento) ocupen el eje de abscisas y la probabilidad de  $N$  o más pérdidas ocupen el eje de ordenadas. Debido al amplio intervalo de valores, normalmente ambos ejes son escalas logarítmicas.

Las curvas FN se pueden generar estadísticamente utilizando números "reales" procedentes de pérdidas anteriores o se pueden calcular a partir de estimaciones de modelos simulados. Los datos utilizados y las suposiciones tomadas pueden significar que estos dos tipos de curvas FN proporcionen informaciones diferentes y se deberían utilizar por separado y para fines diferentes. En general, las curvas FN teóricas son más útiles para diseños de sistemas, y las curvas FN estadísticas son más útiles para la gestión de un sistema particular existente.

Ambos enfoques de derivación pueden consumir mucho tiempo por lo que es normal utilizar una mezcla de ambos. Los datos empíricos darán lugar a puntos fijos de pérdidas conocidas de manera precisa que se han producido en accidentes/incidentes conocidos durante un período de tiempo específico, y el análisis de riesgo cuantitativo proporciona otros puntos por extrapolación o interpolación.

La necesidad de considerar accidentes de baja frecuencia y de elevadas consecuencias puede requerir la consideración de largos períodos de tiempo para recopilar datos suficientes para un análisis correcto. Esto, a su vez, puede hacer que los datos disponibles sean sospechosos, si los eventos iniciadores ocurren a lo largo del tiempo.

## B.27.5 Resultados

Una línea que representa el riesgo a través de una gama de valores de las consecuencias, que se pueden comparar con los criterios que son apropiados para la población que se está estudiando y para el nivel de perjuicio especificado.

## B.27.6 Fortalezas y limitaciones

Las curvas FN son un medio útil de presentar la información del riesgo, que pueden ser utilizadas por gerentes y los diseñadores del sistema para ayudar a tomar decisiones sobre el riesgo y los niveles de seguridad. Estas curvas son un medio útil de presentar la información de la frecuencia y de las consecuencias en un formato accesible.

Las curvas FN son apropiadas para comparar riesgos procedentes de situaciones similares cuando se dispone de datos suficientes. Estas curvas no se deberían utilizar para comparar riesgos de tipos diferentes con características que varíen en circunstancias en que también varíe la cantidad y la calidad de los datos.

Una limitación de las curvas FN es que no dicen nada acerca de la gama de efectos o de las consecuencias de incidentes que no sea el número de personas impactadas, y no hay manera de identificar las diferentes formas en las que el nivel de perjuicios puede haber ocurrido. Estas curvas delimitan un tipo de consecuencia particular, normalmente perjuicios a las personas. Las curvas FN no son un método de evaluación del riesgo, sino una forma de presentar los resultados de la evaluación del riesgo.

Estas curvas son un método bien establecido para presentar los resultados de la evaluación del riesgo, pero requieren que sean preparadas por analistas muy calificados, y con frecuencia son difíciles de interpretar y de evaluar por personas que no sean especialistas.

## B.28 Índices de riesgo

### B.28.1 Presentación

Un índice de riesgo es una medida semicuantitativa del riesgo consistente en una estimación que se obtiene utilizando un procedimiento de puntuación mediante la aplicación de escalas ordinales. Los índices de riesgo se pueden utilizar para clasificar una serie de riesgos aplicando criterios similares de manera que se puedan comparar. Las puntuaciones se aplican a cada componente de riesgo, por ejemplo, las características contaminantes (fuentes de contaminación), a la gama de posibles vías de exposición y al impacto sobre los receptores.

Los índices de riesgo son esencialmente un procedimiento cualitativo para clasificar y comparar riesgos. Aunque se utilicen números, esto es simplemente para tener en cuenta su manipulación. En muchos casos, cuando el modelo o sistema fundamental no es bien conocido o no se puede representar, es mejor utilizar un procedimiento cualitativo más abierto.

### B.28.2 Utilización

Los índices se pueden utilizar para clasificar riesgos diferentes asociados a una actividad cuando el sistema se entiende bien. Los índices de riesgo permiten la integración de una gama de factores que tienen un impacto sobre el nivel de riesgo en una única puntuación numérica del nivel de riesgo.

Los índices se utilizan para muchos tipos diferentes de riesgo, normalmente como un medio de definir el alcance de la clasificación del riesgo de acuerdo con el nivel de riesgo. Esto se puede utilizar para determinar los riesgos que necesitan una evaluación adicional en profundidad y posiblemente de tipo cuantitativa.

### B.28.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada se obtienen del sistema, o de una descripción general del contexto. Esto requiere una buena comprensión de todas las fuentes de riesgo, de las vías posibles, y de lo que se podría ver afectado. Para soportar el desarrollo de los índices de riesgo se pueden utilizar herramientas tales como el análisis de árbol de fallas, el análisis de árbol de eventos y el análisis de toma de decisiones generales.

Dado que la elección de escalas ordinales es, hasta cierto punto, arbitraria, se necesitan datos suficientes para validar el índice.

### B.28.4 Proceso

El primer paso consiste en comprender y describir el sistema. Una vez que el sistema esté definido, se desarrollan puntuaciones para cada componente de manera que éstas se puedan combinar para obtener un índice mixto. Por ejemplo, en un contexto ambiental, se deben puntuar los orígenes, el camino y los receptores, teniendo en cuenta que en algunos casos puede haber múltiples caminos y receptores para cada origen. Las puntuaciones individuales se combinan de acuerdo con un esquema que tenga en cuenta la realidad física del sistema. Es importante que las puntuaciones de cada parte del sistema (orígenes, caminos y receptores) sean coherentes internamente y mantengan las relaciones correctas. Las puntuaciones se pueden dar para componentes de riesgo (por ejemplo, probabilidad, exposición, consecuencia) o para factores que aumenten el riesgo.

Las puntuaciones se pueden sumar, restar, multiplicar y/o dividir de acuerdo con este modelo de alto nivel. Los efectos acumulativos se pueden tener en cuenta mediante la adición de puntuaciones (por ejemplo, sumando puntuaciones de caminos diferentes). No es estrictamente válido aplicar fórmulas matemáticas a escalas ordinales. Por ello, una vez que el sistema de clasificación se ha desarrollado, el modelo se debería validar aplicándolo a un sistema conocido. El desarrollo de un índice es un procedimiento iterativo y puede ser necesario probar varios sistemas diferentes para combinar las puntuaciones antes de que el analista se encuentre a gusto con la validación.

La incertidumbre se puede estudiar mediante un análisis de sensibilidad, y variando las puntuaciones hasta encontrar los parámetros que sean más sensibles.

### B.28.5 Resultados

Los resultados consisten en una serie de números (índices mixtos) relacionados con un origen particular y que se pueden comparar con los índices desarrollados para otros orígenes procedentes del mismo sistema, o que se pueden modelizar de la misma manera.

### B.28.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas:

- los índices pueden constituir una buena herramienta para la clasificación jerárquica de riesgos diferentes;
- los índices permiten que múltiples factores que afectan al nivel de riesgo sean incorporados en una única puntuación numérica para el nivel de riesgo.

Limitaciones:

- si el proceso (modelo) y su resultado no están bien validados, los resultados pueden carecer de sentido. El hecho de que la salida sea un valor numérico del riesgo, puede ser mal interpretado y mal utilizado, por ejemplo, en los posteriores análisis de costo/beneficio;
- en muchas situaciones en las que se utilizan los índices, no existe un modelo fundamental para definir si las escalas individuales de los factores de riesgo son lineales, logarítmicas o de algún otro tipo, ni tampoco un modelo que defina los factores que se deberían combinar. En estas situaciones, la clasificación es por consiguiente de poca confianza y en consecuencia es particularmente importante realizar una validación contra datos reales.

## B.29 Matriz de consecuencia/probabilidad

### B.29.1 Presentación

La matriz de consecuencias/probabilidad es un medio de combinar clasificaciones cualitativas o semicuantitativas de consecuencia y probabilidad para producir un nivel de riesgo o una clasificación del riesgo.

El formato de la matriz y las definiciones que se apliquen dependen del contexto en el que se utiliza, y es importante que se utilice un diseño apropiado a las circunstancias.

### B.29.2 Utilización

La matriz de consecuencia/probabilidad se utiliza para jerarquizar riesgos, orígenes de riesgo o tratamientos del riesgo sobre la base del nivel de riesgo. Normalmente, se utiliza como una herramienta de filtrado cuando se han identificado muchos riesgos, por ejemplo, para definir cuáles son los riesgos que necesitan análisis adicionales o más detallados, cuáles son los que se han de tratar primero, o cuáles se han de referenciar a un nivel de gestión más elevado. También se puede utilizar para seleccionar los riesgos que no es necesario considerar en ese momento. El tipo de matriz de riesgo también se utiliza con mucha frecuencia para determinar si un riesgo dado es ampliamente aceptable o no aceptable (ver 5.4), en función de la zona donde se localice sobre la matriz.

La matriz de consecuencia/probabilidad también se puede utilizar para ayudar a que toda la organización participe en la comprensión común de los niveles cualitativos de riesgos. La forma de los niveles de riesgo está establecida y las reglas de decisión están asignadas a aquellos que deberían estar alineados con el apetito del riesgo de la organización.

Una forma de la matriz de consecuencia/probabilidad se utiliza en el análisis de criticidad del FMECA (Análisis de modos y efectos de fallas y de la criticidad) o para ajustar las prioridades después del HAZOP (estudios de peligros y de operatividad). También se puede utilizar en aquellas situaciones en que los datos sean insuficientes para un análisis detallado o la situación no garantice el tiempo y el esfuerzo para un análisis más cuantitativo.

### B.29.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada al proceso son escalas personalizadas de la consecuencia y de la probabilidad, y una matriz que combina las dos.

La escala (o escalas) de consecuencia debería cubrir la gama de diferentes tipos de consecuencia a considerar (por ejemplo, pérdidas financieras, de seguridad, ambientales o de otros tipos, dependiendo del contexto) y se debería extender desde la consecuencia máxima verosímil hasta la consecuencia más baja de interés. Un ejemplo parcial se muestra en Figura B.13.

La escala puede tener cualquier número de puntos. Las escalas más comunes son las de 3, 4 ó 5 puntos.

La escala de probabilidad también puede tener cualquier número de puntos. Las definiciones de la probabilidad se deben seleccionar de manera que sean lo menos ambiguas posible. Si se utilizan guías numéricas para definir probabilidades diferentes, se deben indicar las unidades. La escala de probabilidad debe estar adaptada a la gama aplicable al estudio que se tiene entre manos, recordando que la probabilidad más baja debe ser aceptable para la consecuencia más alta definida, en caso contrario todas las actividades con la consecuencia más alta se definen como intolerables. Un ejemplo parcial se muestra en Figura B.14.

La matriz se dibuja con la consecuencia representada sobre un eje de coordenadas y la probabilidad sobre el otro eje. La Figura B.15 muestra parte de una matriz de ejemplo con escalas de consecuencia de 6 puntos y con escala de probabilidad de 5 puntos.

Los niveles de riesgo asignado a las celdas dependerán de las definiciones de las escalas de probabilidad/consecuencia. La matriz se puede establecer de manera que realice el peso de las consecuencias (como se muestra) o el de la probabilidad, o puede ser simétrica dependiendo de la aplicación. Los niveles de riesgo pueden estar enlazados a reglas de toma de decisiones, tales como el nivel de atención de la gestión o de la escala de tiempo para la que se necesita la respuesta.

Rating	Financial impact AU\$ EBITDA	Investment Return AU\$ NPV	Health and Safety	Environment and Community	Reputation	Legal and Compliance
6	\$100m+ loss or gain	\$300 + loss or gain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multiple fatalities, or</li> <li>Significant irreversible effects to 10's of people</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Irreversible long term environmental harm.</li> <li>Community outrage- potential large-scale class action.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>International press reporting over several days.</li> <li>Total loss of shareholder support who act to dis-invest.</li> <li>CEO departs and board is restructured.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Major litigation or prosecution with damages of \$50m+ plus significant costs.</li> <li>Custodial sentence for company executive</li> <li>Prolonged closure of operations by authorities.</li> </ul>
5	\$10m - \$99m loss or gain	\$20m - \$29m loss or gain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Single fatality and/or</li> <li>Severe irreversible disability to one or more persons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prolonged environmental impact.</li> <li>High-profile community concerns raised – requiring significant remediation measures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>National press reporting over several days.</li> <li>Sustained impact on the reputation of shareholders.</li> <li>Loss of shareholder support for growth.</li> <li>Pressure on</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Major litigation costing \$10m+</li> <li>Investigation by regulator body resulting in long interruption to</li> </ul>
4	\$1m - \$9m loss or gain	\$3m - \$29m loss or gain	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extensive injuries or</li> <li>Irreversible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Major spill</li> </ul>		
3	\$100k - \$900k loss or gain					
2	\$10k - 100k					
1	< \$10k					

IEC 2074/09

Figura B.13 - Ejemplo parcial de una tabla de criterios de consecuencia

Rating	Criteria
Likely	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>balance of probability will occur, or</b></li> <li><b>could occur within "weeks to months"</b></li> </ul>
Possible	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>may occur shortly but a distinct possibility</b></li> <li><b>could occur within "months"</b></li> </ul>
Unlikely	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>may occur but not likely</b></li> <li><b>could occur in "years"</b></li> </ul>
Rare	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>occurrence requires a rare combination of circumstances</b></li> <li><b>exceptional</b></li> <li><b>only occurs once in a lifetime</b></li> </ul>
Remote	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>theoretical</b></li> <li><b>rare</b></li> </ul>

IEC 2074/09

Figura B.14 - Ejemplo parcial de una matriz de criterios de probabilidad

Clasificación de la probabilidad	E	IV	III	II	I	I	I
	D	IV	III	III	II	I	I
	C	V	IV	III	II	II	I
	B	V	IV	III	III	II	I
	A	V	V	IV	III	II	II
	1	2	3	4	5	6	
Clasificación de la consecuencia							

IEC 2076/09

**Figura B.15 - Ejemplo parcial de una matriz de clasificación jerárquica del riesgo**

Las escalas de clasificación y la matriz se pueden establecer con escalas cuantitativas. Por ejemplo, en un contexto de fiabilidad, la escala de probabilidad podría representar los regímenes de fallas indicativos y la escala de consecuencia los costos de la falla en dólares.

Para la utilización de las herramientas se necesitan personas (preferiblemente en equipo) que tengan los conocimientos técnicos correspondientes, y que dispongan de datos para poder enjuiciar la consecuencia y la probabilidad.

#### B.29.4 Proceso

Para clasificar jerárquicamente los riesgos, el usuario en primer lugar localiza el descriptor de la consecuencia que mejor se adapta a la situación, después define la probabilidad con la que ocurrirán estas consecuencias. A continuación, de la matriz deduce el nivel de riesgo.

Muchos eventos de riesgo pueden tener una gama de consecuencias con diferentes probabilidades asociadas. Usualmente, los problemas menores son más comunes que las catástrofes. Por ello, existe una elección sobre si jerarquizar las consecuencias más comunes, o las más serias, o alguna otra combinación. En muchos casos, es adecuado enfocar las consecuencias verosímiles más serias ya que éstas plantean las mayores amenazas y con frecuencia son las de mayor importancia. En algunos casos, puede ser apropiado jerarquizar como riesgos independientes los problemas comunes y las catástrofes improbables. Es importante que se utilice la probabilidad aplicable a la consecuencia seleccionada y no la probabilidad del evento como un todo.

El nivel de riesgo definido por la matriz puede estar asociado a una regla de toma de decisiones, tal como la de tratar o no tratar el riesgo.

#### B.29.5 Resultados

Los resultados son una clasificación de cada riesgo o una lista jerarquizada de riesgo con niveles de importancia definidos.

## B.29.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas:

- es relativamente fácil de utilizar;
- proporciona una clasificación jerarquizada rápida de los riesgos con diferentes niveles de importancia.

Limitaciones:

- la matriz se debería diseñar de manera que sea apropiada a las circunstancias, por lo que en una organización puede ser difícil disponer de un sistema común que se aplique a una gama de circunstancias importantes;
- es difícil definir escalas que no sean ambiguas;
- su utilización es muy subjetiva, y por tanto pueden existir variaciones significativas entre los clasificadores;
- los riesgos no se pueden sumar (es decir, no se puede definir que un número particular de riesgos bajos o que un riesgo bajo identificado un número particular de veces sea equivalente a un riesgo de tipo medio);
- es difícil combinar o comparar el nivel de riesgo para categorías diferentes de consecuencias.

Los resultados dependerán del nivel de detalle del análisis, es decir, del análisis más detallado, del mayor número de escenarios, cada uno con la más baja probabilidad. Esto subestimará el nivel de riesgo real. La forma de agrupar juntos los escenarios para la descripción del riesgo debería ser consistente y estar definida al comienzo del estudio.

## B.30 Análisis de costo/beneficio (CBA)

### B.30.1 Resumen

El análisis de costo/beneficio se puede utilizar para la evaluación del riesgo donde los costos previstos totales se compensan con los beneficios totales previstos, a fin de elegir la mejor opción o la más ventajosa. Este análisis constituye una parte implícita de muchos sistemas de valoración del riesgo. Puede ser cualitativo o cuantitativo, o implicar una combinación de elementos cuantitativos o cualitativos. El CBA cuantitativo añade el valor monetario de todos los costos y todos los beneficios para todas las partes interesadas que están incluidas en el campo de aplicación, y se ajusta para períodos de tiempo diferentes en los que los costos y beneficios se acumulan. El valor actual neto (NPV) que se obtiene, pasa a ser una entrada para la toma de decisiones sobre el riesgo. Un NPV positivo asociado con una acción, normalmente significaría que la acción se debería realizar. Sin embargo, para algunos riesgos negativos, en particular aquellos que implican riesgos para la vida de las personas o daños para el entorno ambiental, se puede aplicar el principio ALARP (*tan bajo como razonablemente sea posible*). Esto divide los riesgos en tres regiones: un nivel por encima del cual los riesgos negativos son intolerables y no se deberían aceptar excepto en circunstancias extraordinarias; un nivel por debajo del cual los riesgos son insignificantes y únicamente necesitan seguirse para asegurar que continúan siendo bajos; una banda central donde se procura que los riesgos sean tan bajos como razonablemente sea posible (ALARP). Hacia el extremo de riesgo más bajo de esta región, se puede aplicar un estricto análisis de costo/beneficio, pero en la zona donde los riesgos están próximos a ser considerados como intolerables, la expectativa del principio ALARP es que el tratamiento se realizará salvo que los costos del tratamiento sean enormemente desproporcionados con respecto a los beneficios que obtienen.

### B.30.2 Utilización

El análisis de costo/beneficio se puede utilizar para decidir entre opciones que implican riesgo.

Por ejemplo:

- como entrada en una decisión acerca de si un riesgo se debería tratar;
- para diferenciar entre, y decidir, la mejor manera de tratar el riesgo;
- decidir entre diferentes formas de acción.

### B.30.3 Elementos de entrada

Los elementos de entrada incluyen la información sobre costos y beneficios para las principales partes interesadas y sobre las incertidumbres en estos costos y beneficios. Se deberían tener en consideración los costos y beneficios tangibles e intangibles. Los costos incluyen los recursos consumidos y las consecuencias negativas; los beneficios incluyen las consecuencias positivas, las consecuencias negativas que se han evitado y los recursos ahorrados.

### B.30.4 Proceso

Se identifican las partes interesadas que pueden experimentar costos o recibir beneficios. En un análisis de costo/beneficio completo se incluyen todas las partes interesadas.

Se identifican los beneficios y costos directos e indirectos de todas las partes interesadas de las opciones que se están considerando. Los beneficios directos son aquellos que salen directamente de la acción tomada, mientras que los beneficios indirectos o subsidiarios son aquello que son fortuitos pero que aún pueden contribuir significativamente a la decisión. Como ejemplo de beneficios indirectos se consideran la mejora de reputación, la satisfacción del personal de dirección y la *tranquilidad de espíritu*. (Con frecuencia, éstos se ponderan, intensamente en la toma de decisiones).

Los costos directos son aquellos que están asociados directamente con la acción. Los costos indirectos son los costos adicionales, los subsidiarios y los inmovilizados, tales como la pérdida de utilidad, la confusión en el tiempo de gestión o la derivación de capital fuera de potenciales inversiones. Cuando se aplica un análisis de costo/beneficio a una decisión sobre si se debe tratar un riesgo, se deberían incluir los costos y los beneficios asociados al tratamiento del riesgo y con la aceptación del riesgo.

En el análisis de costo/beneficio cuantitativo, cuando se han identificado todos los costos y beneficios tangibles e intangibles se asigna un valor monetario a todos los costos y beneficios (incluidos los intangibles). Para hacer esto existe un número de maneras normalizadas, incluyendo el enfoque de *buena disposición para pagar* y utilizando maneras sustitutas. Si, como ocurre con frecuencia, los costos se estiman sobre un período de tiempo corto (por ejemplo, un año) y los beneficios corresponden a un período de tiempo grande a partir de entonces, normalmente es necesario descontar los beneficios para traerlos al "valor de hoy" de manera que se puede obtener una comparación válida. Todos los costos y beneficios se expresan como valores actuales. Los valores actuales de todos los costos y de todos los beneficios para todas las partes interesadas se pueden combinar para obtener un valor actual neto (NPV). Un NPV positivo implica que la acción es beneficiosa. También se utiliza la relación beneficio-costo (ver B.30.5).

Si existe incertidumbre sobre el nivel de los costos o de los beneficios, uno o ambos términos se pueden ponderar de acuerdo con sus probabilidades.

En el análisis de costo/beneficio cualitativo no se intenta encontrar un valor monetario para los costos y beneficios intangibles y, en vez de proporcionar un número único que resuma los costos y beneficios, las relaciones y las concesiones mutuas entre costos y beneficios se consideran cualitativamente.

Una técnica relacionada es un análisis de costos-eficacia. En este análisis se asume que se desea un determinado beneficio o resultado, y que existen varios caminos alternativos para conseguirlo. El análisis estudia únicamente los costos y cuál es el camino más económico para conseguir el beneficio.

### B.30.5 Resultados

El resultado de un análisis de costo/beneficio consiste en la información sobre costos y beneficios, relativa a diferentes opciones o acciones. Esto se puede expresar cuantitativamente como un valor actual neto (NPV), un porcentaje de retorno interno (IRR) o como la relación entre el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos. Los resultados expresados en forma cualitativa, por lo general, consisten en una tabla que compara los costos y los beneficios de diferentes tipos de costos y beneficios, prestando atención a las concesiones mutuas.

### B.30.6 Fortalezas y limitaciones

Las fortalezas del análisis de costo/beneficio:

- permite la comparación entre costos y beneficios utilizando una métrica única (dinero);
- proporciona transparencia para la toma de decisiones;
- requiere la recopilación de información detallada sobre todos los posibles aspectos de la decisión. Esto puede ser útil como revelador de ignorancia así como de comunicación de conocimientos.

Limitaciones

- un CBA cuantitativo puede producir números dramáticamente diferentes, dependiendo de los métodos utilizados para asignar valores económicos a beneficios no económicos;
- en algunas aplicaciones es difícil definir una tasa de descuento válida para costos y beneficios futuros;
- los beneficios que se acumulan para una población grande son difíciles de estimar, en particular aquellos que están relacionados con bienes públicos que no se cambian en los mercados;
- la práctica del descuento significa que los beneficios que se obtengan en un futuro a largo plazo tienen una influencia insignificante sobre las decisiones tomadas, dependiendo de la tasa de descuento elegida. El método comienza a ser inadecuado para la consideración de riesgos que afecten a generaciones futuras, salvo que se fijen regímenes de discontinuidad muy baja o cero.

## B.31 Análisis de decisión multi-criterios (MCDA)

### B.31.1 Presentación

El objetivo de este análisis es utilizar una gama de criterios para evaluar de forma objetiva y transparente el mérito de un conjunto de opciones. En general, la meta global es generar un orden de preferencia entre opciones disponibles. Este análisis implica el desarrollo de una matriz de opciones y de criterios que se jerarquizan y suman para proporcionar una puntuación global de cada opción.

### B.31.2 Utilización

El MCDA se puede utilizar para:

- a) comparar múltiples opciones como un primer paso de análisis para determinar opciones preferentes y potenciales y opciones inapropiadas;
- b) comparar opciones cuando existen múltiples criterios, y que algunas veces son contradictorios;
- c) alcanzar un consenso sobre una decisión cuando diferentes partes interesadas tienen objetivos o valores contradictorios.

### B.31.3 Elementos de entrada

Un conjunto de opciones para análisis. Los criterios, basados en objetivos, que se pueden utilizar por igual sobre todas las opciones para establecer las diferencias entre ellas.

### B.31.4 Proceso

Por lo general, un grupo de partes interesadas bien informadas que realizan el proceso siguiente:

- a) definen el o los objetivos;
- b) determinan los atributos (criterios o medidas de comportamiento) que se relacionan con cada objetivo;
- c) estructuran los atributos de manera jerárquica;
- d) desarrollan opciones que se evalúan contra los criterios fijados;
- e) determinan la importancia de los criterios y le asignan las categorías correspondientes;
- f) evalúan las alternativas con respecto a los criterios. Esto se puede representar como una matriz de puntuaciones;
- g) combinan las múltiples puntuaciones de un solo atributo en una puntuación única de múltiples atributos;
- h) evalúan los resultados.

Existen diferentes métodos mediante los cuales se puede obtener la ponderación de cada criterio, y diferentes formas de sumar los criterios de puntuación de cada opción en una puntuación única de múltiples atributos. Por ejemplo, las puntuaciones se pueden sumar como una suma ponderada o un producto ponderado o utilizando un proceso jerárquico analítico, una técnica de consecución de las ponderaciones y puntuaciones basadas en comparaciones por parejas. En todos estos métodos se asume que la preferencia por cualquier criterio no depende de los valores de los otros criterios. Cuando esta presunción no es válida, se utilizan modelos diferentes.

Dado que las puntuaciones son subjetivas, el análisis de sensibilidad es útil para examinar el alcance con que las ponderaciones y las puntuaciones influyen en las preferencias generales entre opciones.

### B.31.5 Resultados

La presentación del orden jerárquico de las opciones va desde la más a la menos preferida. Si el proceso genera una matriz donde los ejes de la matriz son los criterios ponderados y los criterios de puntuación para cada opción, entonces los criterios altamente ponderados de opciones que fallen pueden también ser eliminados.

### B.31.6 Fortalezas y limitaciones

Fortalezas:

- proporciona una estructura simple para una toma de decisiones eficaz y la presentación de presunciones y de conclusiones;
- puede hacer más manejables problemas de decisión complejos que no son tratables mediante el análisis de costo/beneficio;
- puede ayudar a considerar racionalmente los problemas donde es necesario realizar concesiones mutuas;
- puede ayudar a conseguir el acuerdo entre partes interesadas que tienen objetivos diferentes y por tanto también criterios diferentes.

Limitaciones:

- puede ser afectado por derivaciones y una mala selección de los criterios de decisión;
- la mayoría de los problemas del MCDA no tienen una solución concluyente o única;
- los algoritmos de agregación que calculan los criterios de las ponderaciones a partir de las preferencias establecidas o las opiniones que difieran totalmente, puede oscurecer la base verdadera de la decisión.

## Anexo C

(informativo)

### Bibliografía

- [1] IEC 60300-3-11      *Dependability management - Part 3-11: Application guide - Reliability centred maintenance.*
- [2] IEC 61078      *Analysis techniques for dependability - Reliability block diagram and boolean methods.*
- [3] IEC 61165      *Application of markov techniques.*
- [4] IEC 61508  
(todas las partes)      *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.*
- [5] IEC 61511      *Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector.*
- [6] IEC 61649      *Weibull analysis.*
- [7] IEC 61882      *Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide.*
- [8] IEC 62551      *Analysis techniques for dependability - Petri net technique.*
- [9] ISO/IEC Guide 51      *Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards.*
- [10] ISO/IEC 15909  
(todas las partes)      *Software and systems engineering - High-level Petri nets.*
- [11] ISO 22000      *Food safety management systems - Requirements for any organization in the food chain.*

#### **NOTA EXPLICATIVA NACIONAL**

La equivalencia de las Normas Internacionales señaladas anteriormente con Norma Chilena, y su grado de correspondencia es el siguiente:

Norma Internacional	Norma nacional	Grado de correspondencia
IEC 60300-3-11	No hay	-
IEC 61078	No hay	-
IEC 61165	No hay	-
IED 61508 (todas las partes)	No hay	-
IEC 61511	No hay	-
IEC 61649	No hay	-

(continúa)

(conclusión)

IEC 61882	No hay	-
IEC 62551	No hay	-
ISO/IEC Guide 51	NCh 2516:2000	La Norma Chilena NCh2516:2000 es una adopción idéntica de la versión en inglés de la Norma Internacional ISO Guide 51:1990.
ISO/IEC 15909 (todas las partes)	No hay	-
ISO 22000	NCh-ISO 22000:2007	La Norma Chilena NCh-ISO 22000:2007 es una adopción idéntica de la versión en español de la Norma Internacional ISO 22000:2005.

**Anexo D**  
**(informativo)**

**Justificación de los cambios editoriales**

**Tabla D.1 - Cambios editoriales**

Cláusula/subcláusula	Cambios editoriales	Justificación
1	Se reemplaza "esta Norma Internacional" por "esta norma".	La norma es de alcance nacional.
1	Se reemplaza "Alcance" por "Alcance y campo de aplicación".	De acuerdo a estructura de NCh2.
2 y Anexo C	Se agrega nota explicativa nacional.	Para detallar la equivalencia y el grado de correspondencia de las Normas Internacionales con las Normas Chilenas.
Anexo B, B.29.3	Se intercambian los títulos de Figuras B.14 y B.15.	Debido a que las figuras son referidas de la manera que se está indicando dentro en la norma.
Anexo C	Se reemplaza "Bibliografía" por "Anexo C (informativo) Bibliografía".	De acuerdo a estructura de NCh2.



---

---

---

**ICS 03.100.01**