

**UNIVERSIDAD EAN**



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE PROCESOS**

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE  
SISTEMAS DE SEGURIDAD DE PROCESOS INCLUYENDO PRINCIPIOS VERDES**

**AUTOR  
JORGE ANDRÉS SARMIENTO BECERRA**

**DIRECTOR  
JEFFREY LEON PULIDO**

**BOGOTÁ, JUNIO DE 2019**

## **Tabla de contenido**

Tabla de contenido .....	2
Agradecimientos .....	7
Resumen.....	8
Abstract .....	8
1.    ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	9
1.1.    Introducción .....	9
1.2.    Objetivos .....	10
1.3.    Justificación .....	10
1.4.    Estructura del documento .....	12
2.    REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	13
2.1.    Seguridad de procesos.....	13
2.2.    Conceptos verdes en la seguridad de procesos. ....	43
2.3.    Riesgos en procesos .....	45
2.4.    Identificación de Riesgos en Procesos .....	49
2.5.    Conclusiones.....	55
3.    METODOLOGÍA .....	56
3.1.    Descripción de la Metodología .....	56
3.2.    Consulta a expertos.....	56
3.3.    Instrumento de Evaluación .....	59
3.4.    Matriz de evaluación.....	64
3.5.    Propuesta de instrumento diagnóstico .....	67

4.	RESULTADOS .....	71
4.1.	Caso de estudio .....	71
4.2.	Análisis y conclusiones.....	75
	CONCLUSIONES .....	77
	Lista de Referencias .....	80
	Anexo 1. Cuestionario de consulta a expertos y resultados .....	86
	Anexo 2. Cuestionario de diagnóstico .....	92

*Lista de Tablas*

<b>Tabla 1.</b> Beneficios de la gestión en seguridad de procesos. ....	14
<b>Tabla 2.</b> Contenido temático de algunos estándares en seguridad de procesos .....	16
<b>Tabla 3.</b> Resumen contenido temático de estándares de seguridad en procesos.....	23
<b>Tabla 4.</b> Información necesaria sobre materiales y proceso.....	26
<b>Tabla 5.</b> Elementos para sostenimiento.....	30
<b>Tabla 6.</b> Ejemplo de algunas normativas en Seguridad de procesos.....	32
<b>Tabla 7.</b> Información necesaria para procedimientos operacionales.....	35
<b>Tabla 8.</b> Ejemplo evaluación CCPS .....	41
<b>Tabla 9.</b> 12 Principios de ingeniería Verde .....	43
<b>Tabla 10.</b> Herramientas de análisis de peligros PHA.....	52
<b>Tabla 11.</b> Objetivos de consulta por factor .....	62
<b>Tabla 12.</b> Recomendación de tamaño de aplicación de la herramienta.....	64
<b>Tabla 13.</b> Ponderación de factores .....	65
<b>Tabla 14.</b> Grado de avance propuesto en el diagnóstico .....	68
<b>Tabla 15.</b> Matriz ERIC propuesta para el caso Alfa.....	74

*Lista de Figuras*

<b>Figura 1.</b> Evolución de las estrategias en seguridad de procesos y prevención de accidentes	13
<b>Figura 2.</b> Pasos básicos de un PSM.....	21
<b>Figura 3.</b> Principios y marco de referencia según ISO 31000.....	28
<b>Figura 4.</b> Proceso de gestión del riesgo según ISO 31000.....	28
<b>Figura 5.</b> Pirámide de Heinrich y tipo de indicadores.....	30
<b>Figura 6.</b> Similitudes de niveles en modelos de madurez.....	38
<b>Figura 7.</b> Curva DuPont-Bradely.....	39
<b>Figura 8.</b> Esquema de excelencia Tüv Süd.....	40
<b>Figura 9.</b> Estructura modelo RM3.....	42
<b>Figura 10.</b> Número de eventos reportados por tipo de industria en eMARS de la comisión Europea en el periodo 2008-2018.....	45
<b>Figura 11.</b> Principales sectores de exportación para Colombia en 2017.....	46
<b>Figura 12.</b> Variación del índice de producción industrial Agosto 2018 vs Agosto 2017.....	47
<b>Figura 13.</b> Propuesta de clasificación de peligros.....	49
<b>Figura 14.</b> Categorías de Causales.....	50
<b>Figura 15.</b> Distribución de eventos reportados en MARS durante la última década.....	51
<b>Figura 16.</b> Incidencia de eventos reportados en MARS durante la última década según causales.....	52
<b>Figura 17.</b> Flujo de trabajo de la metodología utilizada.....	56
<b>Figura 18.</b> Factores POCAM.....	61
<b>Figura 19.</b> Flujo propuesto para la implementación de la herramienta.....	66
<b>Figura 20.</b> Matriz EFE-EFI modelo de diagnóstico.....	69
<b>Figura 21.</b> Modelo de Diagnóstico por factor.....	70
<b>Figura 22.</b> Resultado EFE-EFI aplicación de la herramienta en caso Alfa.....	72
<b>Figura 23.</b> Resultado por factores de la implementación de la herramienta en caso alfa.....	73

*Lista de abreviaciones*

PS	Seguridad en procesos (Process safety por sus siglas en inglés)
PSM	Gestión en seguridad de procesos (Process Safety Management)
PHA	Análisis de peligros en procesos (Process Hazard Analysis)
CCPS	Center for Chemical process safety
RBPS	Seguridad en procesos basada en riesgos (Risk Based process safety)
OSHA	Occupational Safety and health Administration
KPI	Indicadores claves de gestión (Key performance indicators)
IEF	Frecuencia del evento de iniciación
PFD	Probabilidad de falla según demanda
PSI	Información de seguridad de procesos (Process Safety Information)
FACTS	Sistema de información técnica de fallas y accidents (Failure and Accidents Technical information System)
MARS	Sistema de reporte de accidentes mayores (Major Accident Reporting System)
GESTIS	Sistema de información de materiales peligrosos (Gefahrstoffinformationssystem)

## **Agradecimientos**

Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de Dios y mi familia por quienes soy quien soy hoy día. A mi papá por el carácter, el empeño y el pensamiento crítico, a mi mamá por su entereza apoyo y enseñarme que no hay obstáculo que no pueda ser superado con fe, con la ayuda de Dios, con esmero, dedicación y una sonrisa amable para quienes están a nuestro alrededor, pues no conocemos cuan pesadas son las cruces que cada cual carga. A mis hermanas y sobrinos por acompañarme, alegrarme y darme ejemplo de responsabilidad. A mi prometida por la paciencia y calma con que me apoyó y sus palabras de ánimo y reflexión que me impulsaron.

Gracias a las experiencias que me llevaron a confrontar este tema, pues aunque en su momento fueron momentos difíciles, me abrieron los ojos a este campo de acción. Gracias a todos aquellos que dedicaron su tiempo a responder cuestionarios y ofrecer sus pensamientos, porque este trabajo es un compendio de ello.

Finalmente gracias a Dios, espero con este trabajo aportar una semilla para proteger vidas y familias, mejorar los procesos y que sea instrumento de bondad.

## **Resumen**

La seguridad de procesos, a diferencia de la seguridad industrial, se concentra en evitar accidentes de gran impacto como lo son incendios, explosiones o liberaciones de material tóxico, siendo un eje que cada vez toma más relevancia dentro de la gestión de las plantas de producción. Para esto se han desarrollado variados modelos de gestión que buscan cubrir un amplio espectro de factores relevantes para la seguridad, entre los que se encuentran algunos como OSHA, RBPS, CCPS, DuPont y Tüv-Süd entre otros. No obstante, en muchos casos se requiere un alto grado de experticia dentro de una compañía para incursionar de forma estructurada en este campo de la gestión de seguridad de procesos.

En este documento se hace un repaso a través de los principales modelos de gestión en seguridad de procesos, resaltando los principales factores y elementos que los componen, así como la forma en que estos se evalúan y partiendo de ello se presenta una propuesta aplicada de una herramienta de diagnóstico que permita a las empresas definir una línea base y medirse a lo largo de su proceso de inicio en la gestión de seguridad en procesos.

**Palabras Clave** – Gestión en seguridad de procesos, Seguridad de procesos, Ingeniería Verde.

## **Abstract**

*Process safety, different from industrial safety, focuses on preventing great impact accidents, such as fires, explosions and toxic releases and nowadays is getting more relevance in production plant management. Many management models have been proposed in order to cover with a broad pool of factors related to safety, among them can be found some like OSHA, RBPS, CCPS; DuPont and Tüv-Süd. Nevertheless in many cases it is necessary to have a deep expertise to start in an organized manner with process safety. This document presents a brief review of the main Process Safety Management models, highlighting the main elements and factors, as well as their evaluation scheme. From this point an applied tool for diagnosis is proposed, in order to define a baseline and measurement tool for the companies that are willing to dabble into Process Safety.*

**Keywords** – Process Safety management, process safety, Green process engineering.

## **1. ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

### **1.1. Introducción**

Dentro del plan de muchas organizaciones contemporáneas para mejorar su desempeño, se encuentra mejorar su nivel de cultura en seguridad (Goncalves Filho & Waterson, 2018). El continuo desarrollo económico y tecnológico, la evolución industrial y los cambios en los patrones de consumo alrededor del mundo retan las industrias cada vez a producir más productos, de mejor calidad, a menores costos y en una constante diversificación. Esto conlleva al incremento en la complejidad y el tamaño de las plantas de procesamiento e inevitablemente al surgimiento de nuevos peligros y agudización de algunos riesgos (F. Khan, Rathnayaka, & Ahmed, 2015), los cuales sin un correcto manejo y comunicación pueden llevar a grandes pérdidas (Besserman & Mentzer, 2017).

En un estudio realizado por Khan (F. I. Khan & Abbasi, 2001), se evidencia el gran impacto que pueden tener los incidentes de seguridad en procesos en las diferentes industrias, pues aparte de millonarias pérdidas materiales en utilidades, producto e infraestructura, generan también daños al medio ambiente, lesiones al personal y muertes (Casal, 2008). Muchos de estos accidentes ocurren por fallas en equipos o negligencia en la operación y mantenimiento de los mismos, resultando principalmente en situaciones de explosiones, incendios y liberaciones de material tóxico (Mohd Shariff, Abdul Aziz, & Abdul Majid, 2016). Gran parte del impacto que estos accidentes llegan a tener, dependen de la naturaleza de los materiales que se procesan, los factores causales y las condiciones operativas, todo esto enmarcado en un contexto de cultura organizacional que en el caso de la seguridad se torna en un aspecto de competitividad (Goncalves Filho & Waterson, 2018).

Se estima que para el periodo comprendido entre 1974 y 2013, más de 34 Billones de dólares se perdieron únicamente en los 100 accidentes asociados con fallas en seguridad de procesos (American Institute of Chemical engineers, 2016). Considerando los últimos 20 años se tiene en promedio 60 fugas de amoníaco y 10 explosiones por polvo al año (Sarnie, 2016).

Si bien es cierto que con el transcurrir de los años ha disminuido la cantidad de accidentes en procesos, también es cierto que los que ocurren tienen alto impacto y cada vez se enmarcan de forma más clara en aspectos relacionados con la organización, cultura, falta de conocimiento, comunicación y atención (Goncalves Filho & Waterson, 2018; Kneqtering & Pasman, 2009), siendo estos aspectos que pueden llegar a ser cubiertos mediante metodologías de gestión y análisis (Besserman & Mentzer, 2017; Li & Guldenmund, 2018).

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo general***

El objetivo principal de este estudio es:

Desarrollar una propuesta metodológica para el diagnóstico y evaluación inicial de un sistema de seguridad de procesos en la industria, utilizando conceptos de análisis de riesgos a partir de las materias primas empleadas y conceptos de procesos verdes.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Generar una herramienta genérica básica de diagnóstico para determinar el Nivel de implementación de un sistema de gestión de seguridad de procesos aplicable a industrias productoras.
- Identificar las variables fundamentales que componen el panorama de seguridad en procesos en la industria.
- Plantear un esquema del proceso de diagnóstico del sistema de seguridad en procesos en la industria.
- Verificar la aplicabilidad de la metodología en un caso de estudio piloto.

## **1.3. Justificación**

La industria de procesamiento tiene la responsabilidad de continuar disminuyendo el número de incidentes en procesos industriales, para lo cual se debe trabajar en un enfoque holístico de análisis de riesgos que aporte a la formación de cultura en seguridad (Kneqtering & Pasman, 2009),

siendo para esto un deber el utilizar los mejores métodos que permitan dar manejo a los riesgos (Institute of Chemical Engineers, 2007).

Adicionalmente el análisis de riesgos y el planteamiento de sistemas de gestión de seguridad de procesos usualmente requieren de conocimiento experto que no siempre se dispone en las empresas. Aunado a esto, es necesario un pensamiento autocrítico y con disposición constante para aprender de los incidentes que se presenten en los procesos (Stemn, Bofinger, Cliff, & Hassall, 2018), lo que finalmente resulta en altos riesgos que se corren en las plantas de producción y en ocasiones termina en accidentes catastróficos. Esta situación motiva a buscar disminuir esta brecha de conocimiento en seguridad de procesos de forma tal que las empresas, principalmente las pequeñas y medianas, puedan hacer una evaluación de sus riesgos y tomar medidas básicas de mitigación partiendo de una guía que no requiera un alto nivel de experticia para implementarla.

Por otra parte, desde las bases del desarrollo de la ingeniería de procesos verdes se busca minimizar el riesgo medioambiental y a las personas, interviniendo desde el diseño de los procesos, los materiales utilizados y las escalas de producción (Poux, Cognet, & Gourdon, 2010). Esta base de pensamiento, aunado con una metodología estructurada para la evaluación de riesgos y elementos primordiales de un sistema de gestión en seguridad de procesos puede presentar el camino para lograr un nivel aceptable de seguridad como una primera etapa de incursión en este tema.

Como alcance se busca plantear una propuesta referente a la forma de evaluar y diagnosticar las principales medidas de un sistema de seguridad en procesos a partir de los diferentes modelos que existen y a las condiciones particulares de la industria en Colombia, incluyendo criterios de ingeniería verde. Se busca generar una herramienta que faciliten este proceso, a partir de información obtenida por metodología delphi y aplicada en un caso de estudio particular, que podrá ser de la industria o teórico propuesto.

#### **1.4. Estructura del documento**

La estructura de este documento parte de una revisión documental, desde la cual se consolidan las propuestas a plantear. Se divide en 4 secciones: Un primer capítulo expone la introducción y estructuración del problema. En el capítulo 2 se presenta el marco referencial de la temática a tratar. En este se realiza una revisión general de varias metodologías aplicables a este tema, resaltando las similitudes y puntos clave a ser considerados, llevando a la consolidación de la información y marco del contexto industrial de influencia.

En el capítulo 3 se desarrolla la metodología, la consulta a expertos y la construcción de la propuesta metodológica. Finalmente en el capítulo 4 se prueba ésta en un caso de estudio.

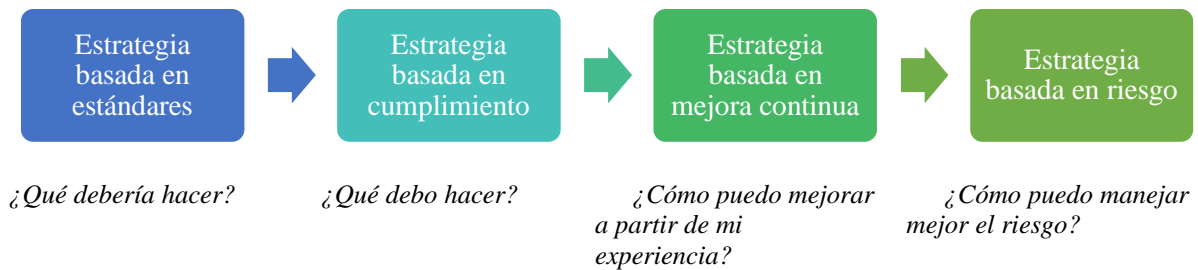
## 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La ocurrencia de accidentes industriales ha generado durante el último siglo grandes pérdidas tanto económicas como humanas para las empresas. Por este motivo, el concepto de seguridad de procesos surgió y ha evolucionado formalmente partiendo desde los planteamientos de Trevor Kletz (American Institute of Chemical engineers, 2016).

### 2.1. Seguridad de procesos

La seguridad en procesos, a diferencia de la salud ocupacional, se enfoca en prevenir accidentes de alto impacto tales como incendios, explosiones o liberaciones de material tóxico (Mohd Shariff et al., 2016). Para esto se han planteado diferentes estrategias que han ido evolucionado con el tiempo buscando evitar cada vez de mejor manera la ocurrencia de incidentes, ver Figura 1 (Center for Chemical Process Safety, 2007), y aunque la cantidad de estos ha disminuido, aún siguen presentándose accidentes en la industria, surgiendo principalmente por aspectos organizacionales, cultura en seguridad, falta de conocimiento y prevención (Knegtering & Pasman, 2009).

**Figura 1.** Evolución de las estrategias en seguridad de procesos y prevención de accidentes



**Fuente:** (Center for Chemical Process Safety, 2007)

#### 2.1.1. Gestión en seguridad de procesos (PSM)

Partiendo de estos planteamientos se identifica que la seguridad en los procesos no puede ser abordada netamente desde lo técnico y requiere ser respaldada igualmente por un sistema de gestión que interactúe y se complemente con los demás aspectos de la forma de operar de las compañías y la industria (American Institute of Chemical engineers, 2016). Así, la seguridad en procesos debe ser vista como un sistema de gestión (designado **PSM** por sus siglas en inglés), que

busque prevenir de accidentes mayores mediante la gestión de operaciones complejas enfocándose en los tres aspectos más importantes del negocio: Tecnología, instalaciones y personal (Center for Chemical Process Safety, 2006).

**Tabla 1.** Beneficios de la gestión en seguridad de procesos.

CCPS: PSM	ISO 31000: Gestión del riesgo
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cualitativos: Responsabilidad Corporativa (Imagen, reputación, marca) y Flexibilidad del negocio.</li> <li>- Cuantitativos: Reducción del riesgo (reducción en daños humanos y al medio ambiente y pérdidas de valor) y sostenimiento del valor (promueve la productividad y la calidad)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incrementa la posibilidad de alcanzar los objetivos</li> <li>- Fomenta la gestión proactiva</li> <li>- Genera conciencia de la necesidad de identificar y tratar los riesgos</li> <li>- Mejora la identificación oportuna de amenazas.</li> <li>- Cumple con los requisitos legales relevantes</li> <li>- Mejora los reportes voluntarios y obligatorios</li> <li>- Mejora la gestión general y confianza de los interesados.</li> <li>- Establece bases confiables para la toma de decisiones y la planeación.</li> <li>- Permite asignar y utilizar efectivamente los recursos.</li> <li>- Mejora la eficiencia y efectividad operacional</li> <li>- Mejora el aprendizaje y la resiliencia de la organización.</li> <li>- Minimiza las pérdidas</li> </ul>

**Fuente:** (American Institute of Chemical engineers, 2016) (Icontec, 2011; ISO, 2009)

Como un sistema de gestión, debe estar compuesto por componentes que guían el pensamiento, permiten el monitoreo y control, orientan la toma de decisiones y establecen un proceso con una serie de actividades concatenadas y coherentes; incluye planeación, organización, liderazgo, funciones de control y se complementa con el esquema de un sistema de entradas-salidas (Li & Guldenmund, 2018). Se espera que una vez se tenga implementado un sistema de gestión en

seguridad de procesos, la empresa esté en capacidad de responderse de forma afirmativa a las preguntas (ABB, 2017):

- ¿Entendemos qué puede salir mal en el proceso?
- ¿Conocemos qué sistemas disponemos para prevenir que esto pueda ocurrir?
- ¿Disponemos de la información suficiente para asegurarnos que estos sistemas están operando correctamente?

El abordar la seguridad en procesos como un programa de gestión integrado a la operación organizacional, además de mitigar la ocurrencia de accidentes, tiene como beneficio el mejorar la imagen de la compañía, mejorar aspectos organizacionales y minimizar las pérdidas. En la Tabla 1 se resaltan los principales beneficios mencionados por ISO y el CCPS (American Institute of Chemical engineers, 2016) (Icontec, 2011; ISO, 2009).

### ***2.1.2. Modelos de gestión de seguridad***

A nivel mundial se han desarrollado diferentes estándares para servir como guía en el desarrollo e implementación de sistemas de gestión en la seguridad de procesos, tales como lo son la OSHA 3132 (CFR1910.119), ISO 31000 e ISO45000, PSM del CCPS, EPA y el RBPS del CCPS. De igual manera algunas empresas han desarrollado sus sistemas de gestión que han trascendido en la industria, siendo aplicables y homólogas a estos estándares, como es el caso de el modelo Kienbaum y Tüv Süd, el PSM de DuPont y el modelo ABB, o sistemas por tipo de industria, como el consolidado para Oil and Gas por el OGP “Asset Integrity – The key to managing major incident risks” y el desarrollado por el Energy Institute “High Level Framework for Process Safety Management”. Para el caso particular de Colombia, se dispone de la Norma técnica Colombiana adaptada de la ISO, NTC-ISO 31000 (Icontec, 2011), y la “Guía Del Sistema De Seguridad, Salud En El Trabajo Y Ambiente Para Contratistas Ruc”, desarrollada por el consejo Colombiano de seguridad (Consejo Colombiano de Seguridad, 2016). Estos estándares buscan ofrecer un marco de referencia que incluya los aspectos básicos para entender, documentar y prevenir que ocurran incidentes en la industria. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los contenidos temáticos que estos modelos abordan, es de resaltar que si bien cada modelo es diferente y dedica detalle y

esfuerzos en las temáticas que son más relevantes para la realidad de su industria o país de procedencia, todos abordan la gestión de seguridad en procesos como un programa transversal, que no se limita únicamente a aspectos documentales o de infraestructura y equipos, sino que debe procurar cubrir diferentes aspectos de la industria para mitigar las posibilidades de falla como lo plantea el modelo del queso suizo (TÜV Süd, 2006).

**Tabla 2.** Contenido temático de algunos estándares en seguridad de procesos

<b>Estándar</b>	<b>Contenido</b>
<b>PSM-OSHA</b> (OSHA, 2011)	Información de seguridad de procesos
	Análisis de peligros en procesos (PHA)
	Procedimientos Operativos
	Participación de los empleados
	Entrenamiento
	Contratistas
	Revisión de seguridad previo a iniciar operación
	Integridad mecánica
	Permisos de trabajo en caliente
	Gestión del Cambio
	Investigación de incidentes
	Planificación y respuesta ante emergencias
	Cumplimiento de auditorías
Secretos comerciales	
<b>ISO 31000</b> (ISO, 2009)	Diseño y compromiso
	Diseño del marco de referencia para la gestión del Riesgo
	Implementar la gestión del riesgo
	Monitoreo y revisión del marco de referencia
<b>ISO 45000</b> (ISO, 2018)	Mejora continua del marco de referencia
	Contexto de la organización
	Liderazgo y participación de los trabajadores
	Planificación
	Apoyo

	Operación
	Evaluación de desempeño
<b>PSM – CCPS</b> (American Institute of Chemical engineers, 2016)	Responsabilidad: Objetivos y metas
	Conocimiento del proceso y documentación
	Revisión del capital del proyecto y procedimientos de diseño
	Proceso de gestión del riesgo
	Gestión del Cambio
	Procesos e integridad de equipos
	Factores humanos
	Entrenamiento y desempeño
	Investigación de incidentes
	Estándares, códigos y leyes
	Auditorías y acciones correctivas
	Mejora del conocimiento en seguridad de procesos
	<b>EPA</b> (Environmental Protection Agency, 2009)
Revisión de peligros	
Evaluación de peligros	
Procedimientos operativos	
Entrenamiento	
Mantenimiento	
Cumplimiento de auditorías	
Investigación de incidentes	
Integridad mecánica	
Gestión del cambio	
revisiones pre-arraque	
cumplimiento de auditorías	
Participación de los empleados	
Contratistas	
<b>RBPS – CCPS</b> (Center for Chemical Process Safety, 2007)	1. Compromiso con la seguridad en procesos
	2. Entender Peligros y Riesgos

	<p>3. Administrar el riesgo</p> <p>4. Aprender de la experiencia</p>
<p><b>Kienbaum + TÜV</b> (TÜV Süd, 2006)</p>	<p>Seguridad en integridad de activos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integridad de diseño</li> <li>• Integridad operacional</li> <li>• Integridad de mantenibilidad</li> </ul> <p>Gestión en la seguridad de procesos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Competencia del personal</li> <li>• Enfoque de seguridad en la gerencia</li> <li>• KPI's de seguridad en procesos.</li> </ul>
<p><b>DuPont</b> (Dupont, 2008)</p>	<p>Personal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auditoría</li> <li>• Planeación de emergencias y respuestas</li> <li>• Gestión del cambio en el personal</li> <li>• Investigación de incidentes</li> <li>• Contratistas</li> <li>• Entrenamiento y desempeño</li> </ul> <p>Tecnología</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Información de seguridad de procesos</li> <li>• Análisis de peligros en el proceso</li> <li>• Procedimientos operativos y prácticas seguras</li> <li>• Gestión del cambio en tecnología</li> </ul> <p>Instalaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión del cambio</li> <li>• Integridad mecánica</li> <li>• Verificaciones previas al arranque</li> <li>• Aseguramiento de la calidad</li> </ul>
<p><b>ABB</b> (ABB, 2017)</p>	<p>PSM Políticas y sistemas</p> <p>Licencia para operar</p> <p>Identificación de peligros y evaluación de riesgos</p>

---

Sistemas de protección

Sostenimiento y mejora del desempeño

---

**OGP (Integridad en el  
ciclo de vida del activo)**  
(Ogp, 2008)

- Concepción y selección
- Definición
- Diseño detallado
- Construcción y puesta en marcha
- Operación, modificaciones y mantenimiento
- Adquisiciones
- Desmontaje y remoción
- Diseño y controles
- Indicadores y alarmas
- Instructivos y procedimientos
- Permisos de trabajo
- Diseño de las tareas
- Cultura de seguridad en procesos
- Competencias y entrenamiento
- KPI's
- Estándares de verificación del desempeño
- Auditorías
- Gestión de revisión

---

**Energy Institute**  
(Energy Institute, 2010)

1. Liderazgo, compromiso y responsabilidad
  2. Identificación y cumplimiento con la legislación y los estándares industriales.
  3. Selección de personal, competencia y aseguramiento
  4. Participación de los trabajadores
  5. Comunicación con interesados
  6. Identificación de peligros y valoración del riesgo
  7. Documentación, registros y gestión del conocimiento
  8. Manuales y procedimientos operativos
-

---

	9. Monitoreo y entrega del proceso y estatus operacional
	10. Gestión de interfaces operacionales
	11. Estándares y prácticas
	12. Gestión del cambio y gerencia de proyecto
	13. Disposición operacional y puesta en marcha del proceso
	14. Preparación para emergencias
	15. Inspección y mantenimiento
	16. Gestión de equipos críticos de seguridad
	17. Control de trabajo, permisos de trabajo y gestión del riesgo de tareas
	18. Selección y gestión de contratistas y proveedores.

---

	Liderazgo y compromiso Gerencial
<b>RUC – CCS</b>	Desarrollo y ejecución del Sistema de gestión
(Consejo Colombiano de	Administración del Riesgo
Seguridad, 2016)	Evaluación y monitoreo
	Impacto de la accidentalidad en la evaluación del RUC

---

Es necesario que dentro de cada uno de estos factores sean considerados los siguientes puntos para hacer del sistema robusto y sostenible (American Institute of Chemical engineers, 2016):

- a) Políticas, programas y procedimientos
- b) Definición de responsabilidades
- c) Aprobadores y autorizaciones
- d) Entrenamiento del personal y experiencia
- e) Medidas de protección
- f) Documentación
- g) Verificación interna.

Si bien estas normas presentan diferencias, todas concuerdan en los aspectos básicos que debe contener un sistema de gestión y la información a evaluar en general puede ser agrupada en bloques temáticos similares y homólogos. Para tomar una referencia, se consideran como patrón los pilares propuestos por el modelo de seguridad basado en riesgo del CCPS (RBPS), ya que puede agrupar

de forma simplificada y se le puede asociar la información manejada en los demás estándares. En la Tabla 3 se presenta un resumen de la similitud temática de los planteamientos.

Dentro de esta información vale la pena resaltar dos grandes núcleos que son comunes: la cultura y la información. Respecto a la cultura, todos los estándares parten de una alineación de la dirección y los trabajadores. Si la dirección y el personal no están comprometidos con la seguridad, no habrá mecanismos suficientes para mitigar correctamente los riesgos. Respecto a la información hay dos ramas principales, una es el conocimiento que se tiene del proceso y que permite hacer el análisis y la segunda es el manejo documental que se aplica al análisis y a todos los mecanismos operativos que mitigan los riesgos (por ejemplo: instructivos, procedimientos, políticas, programas, etc.). Partiendo de ello, se puede simplificar de forma general el desarrollo de un sistema de gestión en seguridad de procesos en 4 grandes pasos consecutivos (ver Figura 2), iniciando desde la cultura, hasta lograr procesos documentados con la información necesaria para mitigar los riesgos y promover el mejoramiento continuo.

**Figura 2.** Pasos básicos de un PSM



**Fuente:** El autor

El compromiso de la dirección y el establecimiento de la cultura organizacional, es un aspecto propio de la compañía, con un contenido altamente subjetivo, mientras que la documentación disponible y los análisis realizados sí pueden ser objetivamente evaluados. Así pues, los estándares previamente mencionados hacen bastante énfasis en la información que debe encontrarse disponible, en la Tabla 4 se presentan consolidados los principales aspectos a ser cubiertos. Esta hace parte del conocimiento de la compañía y entre más y de mejor calidad se encuentre, se podrán tomar decisiones más acertadas, por esto se considera un aspecto primordial y deberá ser uno de los componentes de mayor verificación al momento de definir el grado de implementación en que se encuentre la compañía.

Algunos de estos modelos, además de presentar la información a ser cubierta, proponen un flujo que facilite su desarrollo, por ejemplo en la Figura 3 y la Figura 4 se presenta el esquema general de gestión del riesgo propuesto por la organización internacional de estandarización (ISO). En este se resalta que la gestión del riesgo y en general la seguridad en procesos debe ser liderada desde la dirección de las compañías y apalancada por el compromiso de los trabajadores, debe disponer de un marco de referencia y estar continuamente en evaluación, comunicación y ajuste. Una condición similar es presentada por el CCPS y EPA, Por otra parte, modelos como el ABB, presentan el sistema de forma similar a un ciclo de mejora continua en la cual constantemente se están evaluando y mejorando las condiciones para llegar a un estado óptimo.

**Tabla 3.** Resumen contenido temático de estándares de seguridad en procesos

<b>Categoría</b>	<b>RBPS</b>	<b>PSM - CCPS</b>	<b>PSM - OSHA</b>	<b>ISO 31000 / ISO 45000</b>	<b>RUC</b>	
Compromiso con la seguridad en procesos	Cultura de seguridad en procesos	Responsabilidad: Objetivos y metas	Participación de los empleados	Dirección y compromiso	Políticas de seguridad, salud en el trabajo y ambiente	
	Normas, códigos, regulaciones y leyes	Revisión del capital del proyecto y procedimientos de diseño	Planificación y respuesta ante emergencias	Entender la organización y su contexto	Elementos visibles del compromiso gerencial	
	Competencia en seguridad de procesos	Estándares, códigos y leyes	Secretos comerciales	Establecer políticas de gestión del riesgo	Objetivos y metas	
	Inclusión del personal			Roles, Responsabilidades y autoridades en la organización	Recursos	
	Alcance de los interesados			Integración dentro de los procesos organizacionales	Funciones y responsabilidades Competencias	
				Recursos / Apoyo	Capacitación y entrenamiento	
				Establecer comunicación y mecanismos de reporte	Programa de inducción y reinducción en SSTA	
				Compresión de las necesidades y expectativas de los trabajadores	Motivación, comunicación, participación y consulta	
	Entender Peligros y Riesgos	Administración del conocimiento del proceso	Conocimiento del proceso y documentación	Información de seguridad de procesos	Determinación de los requisitos legales y otros requisitos	Documentación Requisitos legales y de otra índole

**Facultad de Ingeniería**  
**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL**  
**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE**  
**SEGURIDAD DE PROCESOS INCLUYENDO**  
**PRINCIPIOS VERDES**



	Identificación de peligros y análisis de riesgos		Análisis de peligros en procesos (PHA)	Definir criterios de Riesgo - Identificación de peligros y evaluación de riesgos y oportunidades	Identificación de peligros, Identificación de aspectos ambientales
	Procedimientos operativos	Proceso de gestión del riesgo	Procedimientos Operativos	Evaluación del riesgo: 1. Identificación 2. Análisis 3. Evaluación	Valoración y determinación de control del riesgo e impactos
	Prácticas de trabajo seguro	Gestión del Cambio	Entrenamiento	Manejo del riesgo	Administración de contratistas y proveedores
	Integridad de activos y confiabilidad	Procesos e integridad de equipos	Contratistas	Eliminar peligros y reducir riesgos	Visitantes, comunidad y autoridad
Administrar el riesgo	Administración de contratistas	Factores humanos	Revisión de seguridad previo a iniciar operación	Gestión del cambio	Programa de Gestión de riesgos prioritarios
	Entrenamiento y aseguramiento del desempeño		Integridad mecánica	Compras-Contratistas	Salud en el trabajo
	Gestión del cambio		Permisos de trabajo en caliente	Preparación y respuesta ante emergencias	Ambientes de trabajo Seguridad en el trabajo
	Disponibilidad operacional		Gestión del Cambio		Planes de emergencia

**Facultad de Ingeniería**  
**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL**  
**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE**  
**SEGURIDAD DE PROCESOS INCLUYENDO**  
**PRINCIPIOS VERDES**



	Disciplina operacional			Gestión Ambiental	
	Administración de emergencias				
Aprender de la experiencia	Investigación de incidentes	Entrenamiento y desempeño	Investigación de incidentes	Monitoreo y revisión del marco de referencia	Incidentes de trabajo y ambientales
	Mediciones y métricas	Investigación de incidentes	Cumplimiento de auditorías	Mejora continua del marco de referencia	Auditoría interna al sistema de Gestión e Inspecciones
	Auditoría	Auditorías y acciones correctivas		Seguimiento, medición, análisis y evaluación del desempeño	Acciones correctivas y preventivas Seguimiento a los requisitos legales
	Revisión administrativa y mejoramiento continuo	Mejora del conocimiento en seguridad de procesos		Auditoría interna y revisión por la dirección	Medición y revisión de los progresos

**Fuentes:** (American Institute of Chemical engineers, 2016; Center for Chemical Process Safety, 2007; Consejo Colombiano de Seguridad, 2016; Icontec, 2011; ISO, 2009, 2018; OSHA, 2011)

**Tabla 4.** Información necesaria sobre materiales y proceso

Información de peligros Químicos		Información tecnológica del proceso		Información de los equipos del proceso	
Elemento	Norma	Elemento	Norma	Elemento	Norma
Información de toxicidad	RBPS	Diagrama del proceso (De flujo, de flujo simplificado, de bloque...)	RBPS	Materiales de construcción	RBPS
	OSHA		OSHA		OSHA
Límites permisibles de exposición	RBPS	Química del proceso, incluyendo experimentos preliminares durante las etapas de desarrollo	RBPS	P&ID	RBPS
	OSHA		OSHA		OSHA
Información física	RBPS	Peligros asociados a reacciones químicas indeseadas	RBPS	Diagramas de clasificación eléctrica	RBPS
	OSHA		OSHA		OSHA
Información de reactividad	RBPS	Balances de energía y materiales	RBPS	Diseños de los sistemas de alivio.	RBPS
	OSHA		OSHA		OSHA
Información de corrosividad	RBPS	Máximo inventario presupuestado	RBPS	Diseños de los sistemas de ventilación	RBPS
	OSHA		OSHA		OSHA
Estabilidad Térmica y Química	RBPS	Planos o tablas indicando las zonas y distancias de seguridad.	RBPS	Lista de los códigos y normas aplicadas al diseño del proceso	RBPS
	OSHA				OSHA
Efectos peligrosos de mezclas equivocadas con otros materiales dentro del proceso	RBPS	Temperatura y presión de reacción adiabática, tanto para la operación esperada, como para el peor caso	RBPS	Sistemas de seguridad	RBPS
	OSHA				OSHA
Información termodinámica	RBPS	Información de diseño del equipo de separación necesario	RBPS	Información básica del diseño mecánico de los equipos de proceso	RBPS

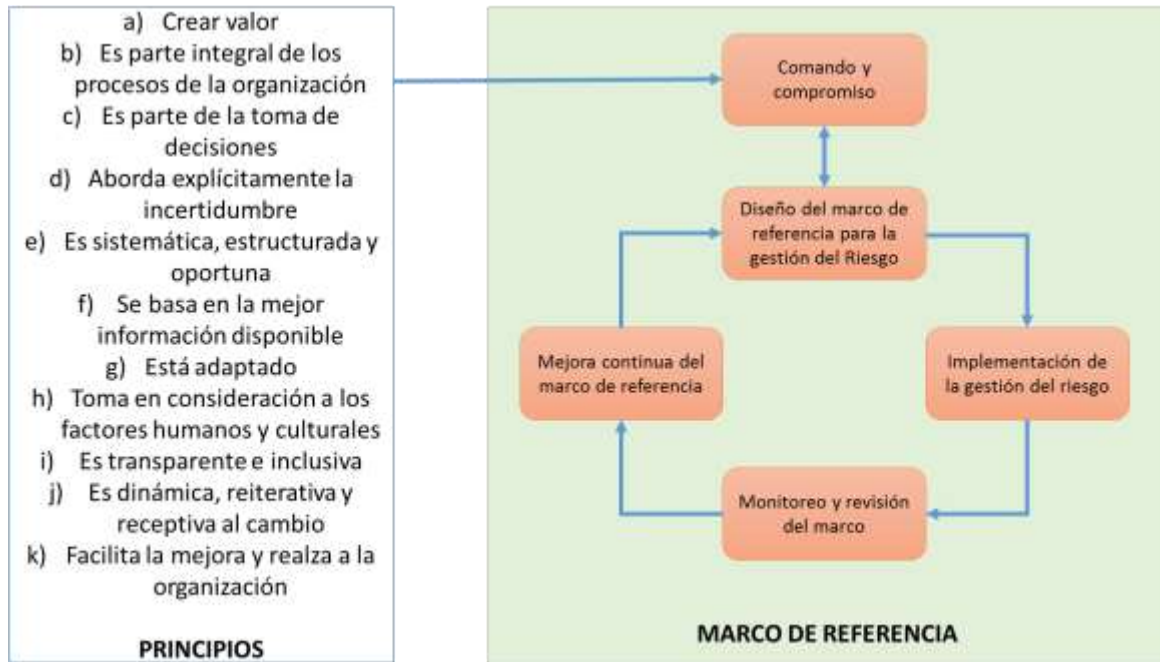
**Facultad de Ingeniería**  
**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL**  
**DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE**  
**SEGURIDAD DE PROCESOS INCLUYENDO**  
**PRINCIPIOS VERDES**



Información Calorimétrica	RBPS	Descripción del sistema y la lógica de control	RBPS OSHA	Información de las instalaciones, incluyendo servicios industriales e infraestructura.	RBPS
Peligros Especiales: Sensibilidad al choque Propiedades pirofóricas Estabilizantes químicos	RBPS	Límites superiores e inferiores de seguridad en variables de procesos y posibles consecuencias de desviaciones en estos datos.	RBPS OSHA	Ubicación de los elementos de seguridad (Duchas, extintores y demás equipos de seguridad)	RBPS
Máxima presión de deflagración o detonación y velocidad de llama	RBPS			Planos isométricos	RBPS
Información de higiene industrial	RBPS RUC			Diagramas de lógica de los sistemas de control	RBPS OSHA
				Información de instrumentación y registros	RBPS
				Información eléctrica	RBPS
				Planos de fabricación	RBPS
				Diseño y análisis de los sistemas de elevación	RBPS
				Especificaciones de tubería	RBPS

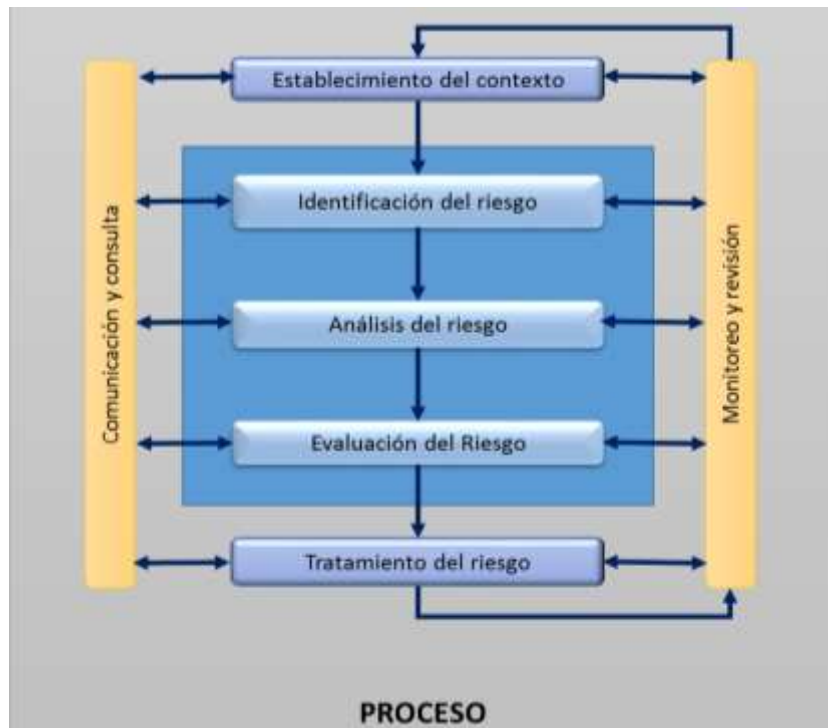
**Fuente:** (Center for Chemical Process Safety, 2007; Consejo Colombiano de Seguridad, 2016; OSHA, 2011)

**Figura 3.** Principios y marco de referencia según ISO 31000



**Fuente:** (ISO, 2009)(Icontec, 2011)

**Figura 4.** Proceso de gestión del riesgo según ISO 31000



**Fuente:** (ISO, 2009)(Icontec, 2011)

### ***2.1.3. Herramientas para la gestión en seguridad de procesos***

Para procurar un sistema de gestión, es necesario establecer objetivos claros y específicos que puedan ser medibles y controlables en el tiempo, para así poder tomar decisiones e implementar medidas que permitan mantener el proceso dentro de unos límites de control aceptable; en este caso referente a la seguridad.

Partiendo de la temática abordada por los estándares, se pueden plantear 3 objetivos primordiales (Stoker, 2014), los cuales debería buscar ser cubiertos por las herramientas que se utilicen:

- Mantener la integridad de los equipos de procesos
- Recopilar e institucionalizar procedimientos de operación segura
- Identificar riesgos en procesos y su respectiva prevención y mitigación

### **Indicadores de desempeño**

Teniendo claros estos objetivos, un primer paso como sistema de gestión, es establecer indicadores que permitan medir y controlar el estado en que se encuentra el proceso, evaluando tanto el estado inicial como su progreso. Algunos de los indicadores recomendados para esto son Número de fallas y alarmas por periodo, Fallas de mantenimiento y gestión de calidad, Número de incidentes y cantidad de material peligroso almacenado, entre otros que sugieren los diferentes estándares (Swuste, Theunissen, Schmitz, Reniers, & Blokland, 2016). La adaptación, uso y priorización de ellos como KPI's dependerá de la realidad y situación de la industria en particular.

Estos no necesariamente garantizarán que se cubrirán todos los riesgos, pero con seguridad un buen control de ellos permitirá mitigar la ocurrencia de varios incidentes y accidentes al fortalecer barreras y disminuir la posibilidad de una situación de efecto tipo “queso suizo”. (Swuste et al., 2016). El tipo de indicadores que se utilice dependerá del estado de evolución en que se encuentre el sistema de gestión, el tipo de control y la etapa del proceso. En la Figura 5, se presenta un modelo de la pirámide de Heinrich, siendo que en cada uno de sus niveles se pueden establecer distintos tipos de indicadores. Dekra recomienda abarcar como mínimo 4 aspectos fundamentales de un sistema de seguridad: Medidas de exposición, Medidas de control, indicadores en retrospectiva y eventos precursores (DEKRA Process Safety, 2019).

**Figura 5.** Pirámide de Heinrich y tipo de indicadores



**Fuente:** (American Institute of Chemical engineers, 2016)

**Elementos para el sostenimiento**

Adicionalmente es necesario considerar algunos elementos que son esenciales para garantizar el sostenimiento de un sistema de gestión en seguridad, los primordiales se listan a continuación en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Elementos para sostenimiento

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
Documentación (American Institute of Chemical engineers, 2016)	Para realizar cualquier tipo de análisis, tomar decisiones, implementar planes de acción y sostener la operación siempre será necesario disponer de la información del proceso y particularmente de la información de seguridad de procesos (PSI), que incluye información de materiales, materias primas, diagramas del proceso, procedimientos, instructivos y análisis previos entre otros.  Todo debe estar correctamente documentado para permitir su correcto uso.
Aseguramiento de la integridad (Ogp, 2008)	Garantizar que un activo esté correctamente diseñado, construido y operativo es un elemento determinante para mitigar los riesgos en

	<p>procesos, ya que de lo contrario la probabilidad de fallas y por ende de incidentes aumenta considerablemente.</p> <p>Este factor abarca desde la revisión del diseño, hasta las condiciones de mantenimiento que se le den a los equipos y revisiones periódicas.</p>
<p>Gestión del Cambio (American Institute of Chemical engineers, 2016)</p>	<p>Disponer de una correcta gestión de cambios permite tener control sobre las modificaciones que sufran los equipos, el proceso o la operación y así poder analizar y documentar de forma apropiada los posibles efectos adversos que pudiesen surgir.</p>
<p>Gestión de proveedores y contratistas. (Energy Institute, 2010)</p>	<p>El trabajo realizado por terceros al interior de una compañía puede afectar los procesos, la seguridad y la reputación. Por este motivo es que la dirección debe garantizar que estos ejecuten su trabajo de forma compatible con las políticas de la compañía y los lineamientos de seguridad establecidos.</p>

#### ***2.1.4. Normativas de la seguridad de procesos***

En torno a la seguridad de procesos se han desarrollado diferentes tipos de normativas, algunas simplemente son estándares con recomendaciones para seguir, como los presentados en la Tabla 2 y Tabla 3. Igualmente en la Tabla 6 se presentan algunas normativas que buscan garantizar la aplicación de condiciones generales de seguridad en procesos. Ejemplo de ello son las directivas Seveso en Europa con aplicación obligatoria en todas las industrias que trabajen con sustancias que sean consideradas peligrosas, de igual manera existen normativas puntuales para algunos aspectos, que aportan a la seguridad en procesos, como es el caso de los códigos y estándares NFPA y API. Para el caso particular de Colombia aplica la NTC-ISO-31000, esta norma es una adaptación de la ISO 31000 a las condiciones locales y plantea lineamientos generales para PSM, mas no es de obligatorio cumplimiento.

La mayoría de estas normativas han surgido tras eventos catastróficos y han tenido mayor crecimiento y desarrollo en los países desarrollados, mientras que en otros países incluso no existe normativa asociada a este tema; esto sin contar la falta de comunicación de las mismas entre los gobiernos y las empresas (Besserman & Mentzer, 2017).

**Tabla 6.** Ejemplo de algunas normativas en Seguridad de procesos

---

U.S. OSHA - Process Safety Management standard (29 CFR 1910.119) (Ref. 4.12)
U.S. Occupational Safety and Health Act - General Duty Clause, Section 5(a)(1) (Ref. 4.13)
U.S. EPA - Risk Management Program regulation (40 CFR 68) (Ref. 4.14)
Clean Air Act - General Duty Requirements, Section 112(r)(1) (Ref. 4.15)
California Risk Management and Prevention Program (Ref. 4.16)
New Jersey Toxic Catastrophe Prevention Act (Ref. 4.17)
Contra Costa County Industrial Safety Ordinance (Ref. 4.18)
Delaware Extremely Hazardous Substances Risk Management Act (Ref. 4.19)
Nevada Chemical Accident Prevention Program (Ref. 4.20)
Reino Unido: Regulación COMAH de la oficina de salud y seguridad, 1999 (Enmendada en 2005 y 2015)
Comisión Europea: Directivas Seveso I, 1982; Seveso II, 1997; Seveso III, 2012.
También normas para elementos puntuales, como la NFPA

---

**Fuente:** (American Institute of Chemical Engineers, 2016)

### ***2.1.5. Elementos fundamentales en la Seguridad de procesos***

Partiendo de los factores presentados en la sección 2.1.2 se puede generar un resumen de los principales elementos que en general conforman un sistema de gestión en seguridad de procesos. A continuación, se presenta una breve descripción de estos elementos, partiendo de la clasificación que realiza OSHA abarcando desde la participación y compromiso de los empleados y las directivas, la información disponible y hasta la aplicación de herramientas que permitan tomar decisiones.

#### ***Participación de Empleados***

La seguridad en los procesos es una temática que atañe a todos los que en ello se ven involucrados. Por este motivo es necesario que los empleados puedan tener acceso a la información base de los procesos, los análisis de riesgos y demás información que es relevante para la construcción de un sistema de gestión de seguridad en procesos. El empleador debe desarrollar un plan documentado que legisle la forma en que los empleados pueden interactuar y acceder a la información (OSHA, 2011). Adicionalmente una clave de éxito para un programa PSM es que se genere un cambio actitudinal en los empleados y se “viva la filosofía” en el día a día (TÜV Süd, n.d.).

### *Información de seguridad en procesos*

Disponer de la información del proceso es un elemento fundamental para poder gestionar la seguridad necesaria para este. Es muy difícil gestionar sobre algo que no se conoce y más aún si se desea evaluar y gestionar sus riesgos asociados (Center for Chemical Process Safety, 2007). Es por esto que es necesario disponer de la mayor cantidad de información clara y concisa del proceso, incluyendo los datos relevantes indicados en la Tabla 4, que sirva como base para que el personal involucrado en la gestión de seguridad pueda tomar las decisiones más apropiadas de cara al proceso (OSHA, 2011).

### *Análisis de riesgos en procesos (PHA)*

El análisis de riesgo (PHA- Process hazard analysis por sus siglas en inglés), o su evolución identificación y análisis de peligros (HIRA-Hazard identification and risk analysis), es una componente básico para la gestión de la seguridad en proceso. El mayor esfuerzo que dedique la compañía debe estar enfocado en evitar que ocurran incidentes, para lo cual es necesario conocer e identificar los peligros y riesgos presentes en el proceso, para así generar los planes de acción que sean necesarios.

El alcance de este análisis es identificar, evaluar y controlar los peligros presentes en el proceso y debe ser profundo, ordenado y sistemático. Hay variedad de metodologías desarrolladas para realizar este tipo de análisis, las cuales se pueden implementar en combinación o de forma individual, algunas de ellas son: ¿Qué tal si?, listas de verificación, HAZOP (estudio de peligros y operatividad según sus siglas en inglés), Análisis del modo y efecto de falla (FMEA), árbol de fallas (OSHA, 2011), análisis de los niveles de protección (LOPA) entre otros (Center for Chemical Process Safety, 2007).

Finalmente no es totalmente relevante cuál o cuáles metodologías sean seleccionadas para este análisis, siempre y cuando se logre responder a las preguntas:

- ¿Qué puede salir mal?: Identificación de peligros
- ¿Qué tanto impacto puede tener? O ¿Qué tan mal puede ser?: Evaluación de consecuencias.

- ¿Qué tan seguido podría ocurrir?: Probabilidad de ocurrencia (Center for Chemical Process Safety, 2007).

Es una evaluación que se realiza inicialmente y debe replantearse periódicamente, pues las condiciones de peligros en los procesos pueden cambiar con el tiempo. Es necesario que considere la cantidad de peligros asociados, empleados potencialmente afectados, antigüedad del proceso y el histórico de acontecimientos (OSHA, 2011). Esta será la información de punto de partida si se desea realizar una gestión de seguridad en procesos basada en riesgos.

Este tipo de análisis debe ser efectuado por personal experto idealmente en grupos de trabajo interdisciplinarios que tengan pleno conocimiento tanto del proceso como de análisis de riesgos. Estos deberían dejarse registrados indicando el peligro, las posibles causas, consecuencias, medidas de seguridad y observaciones o recomendaciones (Center for Chemical Process Safety, 2007)

#### *Procedimientos operacionales (OP)*

Dentro de las herramientas fundamentales que se dispone para controlar los peligros se encuentran los procedimientos operacionales. En estos el empleador debe documentar detalladamente cómo se deben realizar las distintas actividades operativas, que apropiadamente diseñadas a partir de un análisis de riesgos y ejecutadas correctamente deberían llevar al éxito de la operación sin ningún incidente. En la Tabla 7 se muestra parte de la información que debe ser incluida.

#### *Entrenamiento*

Adicional a los procedimientos operativos es necesario que el personal sea entrenado para realizar correctamente sus funciones. Para esto debe recibir tanto un entrenamiento inicial como entrenamientos periódicos de refuerzo en los que se resalten las condiciones de peligro y medidas de seguridad necesarias. Al igual que los procedimientos operativos, estos entrenamientos deben encontrarse documentados.

**Tabla 7.** Información necesaria para procedimientos operacionales

<b>Pasos que se deben indicar en las etapas operativas</b>	<b>Límites operacionales</b>
Arranque inicial	Consecuencias de una desviación
Operaciones normales	Pasos requeridos para corregir o evitar desviaciones.
Operaciones temporales	Propiedades y peligros de los materiales utilizados en el procesos
Apagado de emergencia y responsables	Precauciones necesarias
Operaciones de emergencia	Medidas de control necesarias
Apagado normal	Sistemas de seguridad y su funcionamiento
Encendido tras emergencia	

**Fuente:** Adaptación (OSHA, 2011)

***Contratistas***

La seguridad en los procesos depende de todo el personal que en ellos intervenga, tanto continua como esporádicamente. Este es el caso de los contratistas, quienes de forma ocasional tienen intervención con labores tales como mantenimiento, renovaciones y ajustes entre otros. Si bien el responsable del proceso no puede garantizar dar a todos los contratistas el entrenamiento que reciben los empleados, si debe garantizar que el contratista conozca los peligros asociados al proceso, las medidas de protección existentes y los procedimientos de mitigación relevantes para la misión del contratista, así como evaluar que el personal contratista tenga entrenamiento en los principales peligros y riesgos de la industria.

***Revisión de seguridad de pre-arranque (PSSR)***

Los momentos de mayor riesgo se presentan cuando se realizará algo diferente a lo que se realiza normalmente, bien sea por ser totalmente nuevo o porque sufrió cambios significativos. Es así que para estas condiciones es fuertemente recomendado realizar una revisión de condiciones de seguridad en la que se verifique que todas las condiciones están dadas para evitar que ocurra un incidente. Se debe corroborar que los equipos y las instalaciones se encuentran según las especificaciones de diseño, que los procedimientos operativos y de seguridad se encuentran actualizados y son adecuados para el estado del proceso, se ha realizado un PHA y se tiene la información y recomendaciones respectivas y el personal se encuentra entrenado en esta nueva condición del proceso.

### *Permisos de trabajo en caliente (HWP)*

Dado que las fuentes de calor pueden ser causantes de accidentes al reaccionar con diferentes químicos. Es necesario que los trabajos en caliente cuenten con aprobaciones documentadas que estén vigentes durante toda la ejecución del trabajo.

### *Integridad Mecánica*

Aquellos equipos que contengan o procesen sustancias potencialmente peligrosas, deben ser verificados con periodicidad para garantizar que aún se encuentran dentro de los límites operativos seguros y no se tiene riesgo de una liberación indeseable de producto. Este tipo de inspecciones aplican usualmente a equipos tales como recipientes a presión y tanques de almacenamiento, tuberías, bombas, sistemas de alivio, mecanismos de control y de emergencia. Estas revisiones deben ser documentadas y registradas por personal apto para ello; en ocasiones, como es el caso de recipientes a presión, existen normas que regulan las pruebas a realizar, los límites operativos y características de aprobación de los equipos.

### *Incidente de investigación*

Como parte del proceso de mejora y retroalimentación a las medidas de seguridad, es necesario también aprender de los errores que surjan y que puedan conllevar a incidentes, hayan o no estos derivado en accidentes, pues permitirá identificar en qué parte de la cadena de medidas de seguridad se ha presentado la falla. Es necesario que las investigaciones inicien dentro de las primeras 48 horas después de ocurrido el incidente y deben incluir a todo el personal que se haya visto involucrado en el mismo, así como un equipo de expertos en el proceso. Estas investigaciones deberán como mínimo indicar:

- Fecha del incidente
- Fecha de realización de la investigación
- Descripción del incidente
- Factores que contribuyeron a que ocurriera el incidente
- Recomendaciones y resultados de la investigación

Esto deberá quedar documentado y conservado por lo menos durante 5 años (OSHA, 2011)

### *Planes de emergencia y de respuesta*

La gestión de seguridad en procesos debe contemplar también el caso en que las medidas de mitigación fallen y ocurra un accidente. Es por esto que es necesario igualmente planear como se reaccionará ante emergencias. Esto debe quedar documentado en procedimientos y hacer parte del entrenamiento del personal.

### *Gestión del Cambio*

La gestión del cambio (MOC por su siglas en inglés), busca que todo cambio que se haga a un proceso se haga de forma controlada, entendiendo y declarando la necesidad y razón del cambio y evaluando las modificaciones a realizar, su impacto en la seguridad del proceso, cambios operativos necesarios, tiempos y planes de implementación y demás información que deba ser actualizada para la operación segura del proceso. Todo esto deberá quedar documentado por escrito y deberá incluir igualmente los entrenamientos y acompañamientos necesarios para garantizar que la nueva forma de operar es segura y estable.

#### ***2.1.6. Evaluación nivel de madurez en PSM***

Establecer la definición de un nivel tolerable de riesgo puede llegar a ser altamente subjetivo y diferir ampliamente entre la sociedad y el mundo (Institute of Chemical Engineers, 2007). Es por esto que partiendo de los estándares, se sugiere a las compañías establecer sus criterios y avanzar en la gestión del riesgo. Es un proceso que requiere evolución, entrenamiento, compromiso y afianzamiento dentro de las compañías, por lo cual es conveniente evaluarlo como un grado de madurez. Esto es importante, ya que permite conocer el estado en que se encuentra la compañía y así (1) saber dónde empezar a trabajar, (2) entender qué tanto esfuerzo será necesario, (3) identificar las oportunidades que darán mayor aprovechamiento de recursos y (4) hacer una revisión del avance logrado (American Institute of Chemical engineers, 2016).

Durante los últimos 30 años este concepto de grado de madurez en seguridad de procesos ha evolucionado bastante, particularmente en la última década se han desarrollado varios modelos con el fin de establecer criterios para su clasificación, la mayoría de estos tomando como base los modelos planteados por Philip Crosby y por Ron Westrum (Goncalves Filho & Waterson, 2018).

Estos modelos plantean una clasificación por niveles cualitativos, que varía de 3 a 5 niveles, partiendo de un estado básico en el que el principal elemento guía del programa de PS es el instinto de supervivencia y no se tiene claridad en responsabilidades, procedimientos ni documentación, pasando por una etapa de transición, hasta llegar a un nivel altamente proactivo en PS, donde se tienen claros los objetivos en seguridad, todo el personal está comprometido con ella y actúa consecuentemente con esta convicción, se tienen medidas, documentos y procedimientos que soportan los planes de seguridad en procesos y el programa permanece en un estado de mejora continua. En la Figura 6 se pueden ver algunos de estos componentes y sus semejanzas. En su adaptación del modelo Hudson presenta los siguientes estilos de pensamiento según el nivel de madurez en que se encuentre (Parker, Lawrie, & Hudson, 2006):

- **Patológico:** ¿Para qué preocuparse por la seguridad si no estamos siendo afectados?
- **Reactivo:** La seguridad importante, hacemos lo que sea necesario cada vez que ocurra un accidente.
- **Calculador:** Se tienen sistemas de planta para controlar los peligros
- **Proactivo:** Tratamos de anticipar los problemas de seguridad antes de que ocurran
- **Generativo:** La seguridad es como hacemos nuestro negocio.

**Figura 6.** Similitudes de niveles en modelos de madurez

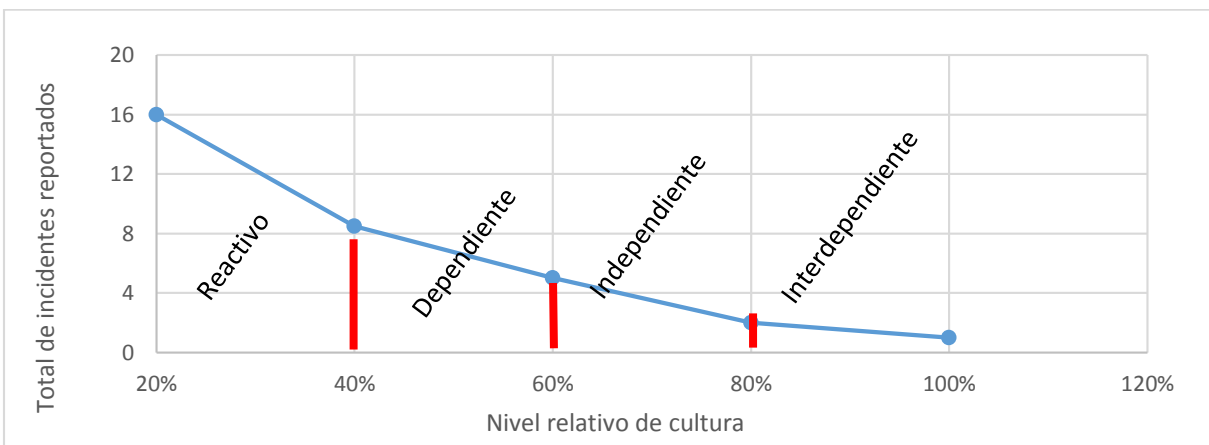


**Fuente:** (Goncalves Filho & Waterson, 2018)

Este esquema de pensamiento se refleja de forma similar en los demás modelos y puede ser igualmente analizado de manera gráfica mediante la curva DuPont-Bradley, Figura 7 (Goncalves

Filho & Waterson, 2018). Tüv Süd adapta también el modelo bajo el esquema de la escalera de la excelencia con 5 niveles y establece un grado de evolución no solamente partiendo de la actitud de la compañía hacia la seguridad, sino también a partir de los mecanismos que se tengan implementados, lo cual facilita más el entendimiento del estado en que ésta se encuentre, Figura 8. En términos generales, los indicadores de gestión también evolucionarán a medida que se avanza en los niveles de madurez, pues en las etapas iniciales será necesario tener indicadores de cumplimiento, posteriormente enfocarse más en indicadores de mejoramiento y al alcanzar un alto grado de madurez, los indicadores tenderán a ser más de aprendizaje (Swuste et al., 2016).

**Figura 7.** Curva DuPont-Bradely

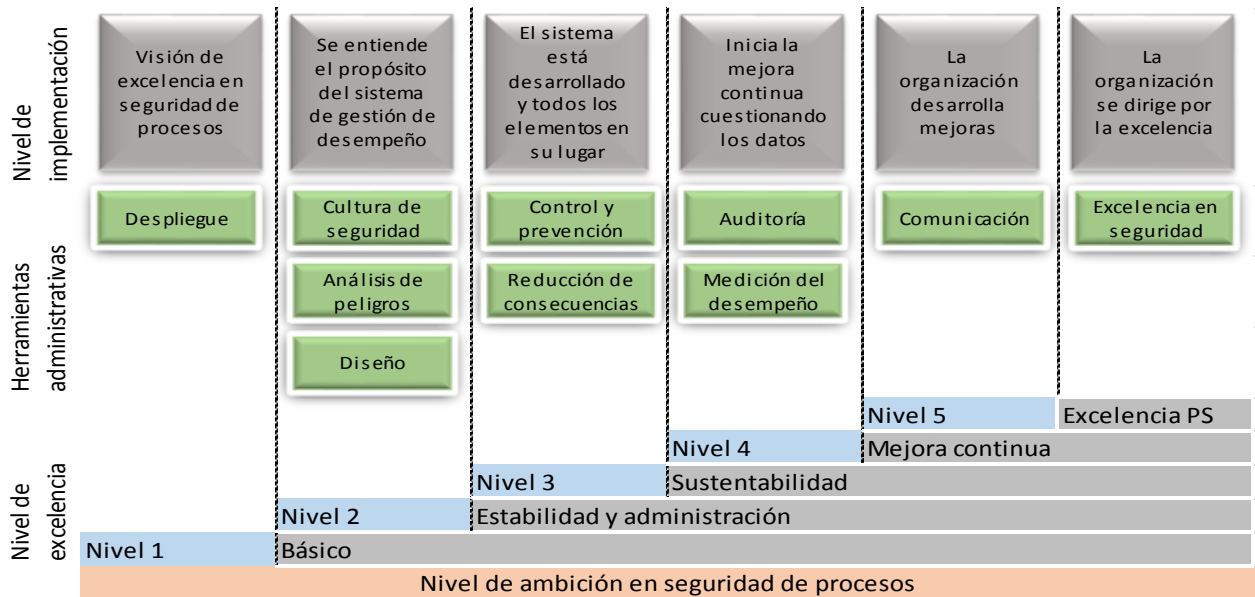


**Fuente:** (DuPont, n.d.)

Estos esquemas pueden ser aplicados también a elementos específicos de los modelos de gestión y así evaluar el grado de evolución que se tiene en cada uno de ellos (American Institute of Chemical engineers, 2016), en la Tabla 8 y Figura 9 se puede ver un ejemplo de esta estructuración dada por el CCPS y del modelo RM<sup>3</sup> desarrollado por el laboratorio de salud y seguridad de la oficina de vías y ferrocarriles del reino unido, en el que establece una estructura de 5 categorías con 26 elementos, cada uno de ellos evaluables en 5 niveles según una descripción establecida, ad-hoc, gestionado, estandarizado, predecible y excelente (Office of rail and Road & Health and safety Laboratory, 2017). Este es un modelo más detallado y adaptado a las necesidades específicas de esta industria, dando así un ejemplo de la forma en que se puede adaptar el concepto de madurez

en seguridad de procesos a la realidad de cada empresa. En general los modelos genéricos pueden y deberían ser adaptados a los requerimientos específicos de cada compañía (Center For Chemical Process safety, 2011).

**Figura 8.** Esquema de excelencia Tüv Süd



**Fuente:** (TÜV Süd, n.d.)

Otro ejemplo de un modelo adaptado en gran detalle a un tipo de industria es el presentado por la asociación holandesa de tanques de almacenamiento (VOTOB) en la conferencia europea de almacenamiento de petróleo en 2014, donde dividen el análisis en 3 sistemas: Mindware, Software y Hardware, dentro de los que se tienen diferentes elementos que los componen y pueden ser a su vez evaluados en una escala de 1 a 5 de malo a excelente. Esto genera finalmente diagrama radial por cada uno de los sistemas y permite así enfocar esfuerzos en los elementos que así lo requieran (Bont, 2014).

La evaluación y el planteamiento dependerán mucho del punto en el ciclo de vida en que se encuentre el proceso (American Institute of Chemical engineers, 2016). Usualmente la información para la implementación de este tipo de evaluaciones se recolecta por medio de cuestionarios, entrevistas o revisión documental. No importa cuál sea el mecanismo siempre y

cuando se logre la mayor confiabilidad de la información recolectada (Goncalves Filho & Waterson, 2018)

**Tabla 8.** Ejemplo evaluación CCPS

COMPONENTES DE PSM	Embrionario	En desarrollo	Maduro
Información de seguridad de procesos		X	
Análisis de peligros en procesos (PHA)	X		
Procedimientos Operativos		X	
Participación de los empleados			X
Entrenamiento		X	
Contratistas		X	
Revisión de seguridad previo a iniciar operación		X	
Integridad mecánica	X		
Permisos de trabajo en caliente	X		
Gestión del Cambio		X	
Investigación de incidentes		X	
Planificación y respuesta ante emergencias		X	
Cumplimiento de auditorías	X		
Secretos comerciales	X		

**Fuente:** (American Institute of Chemical engineers, 2016)

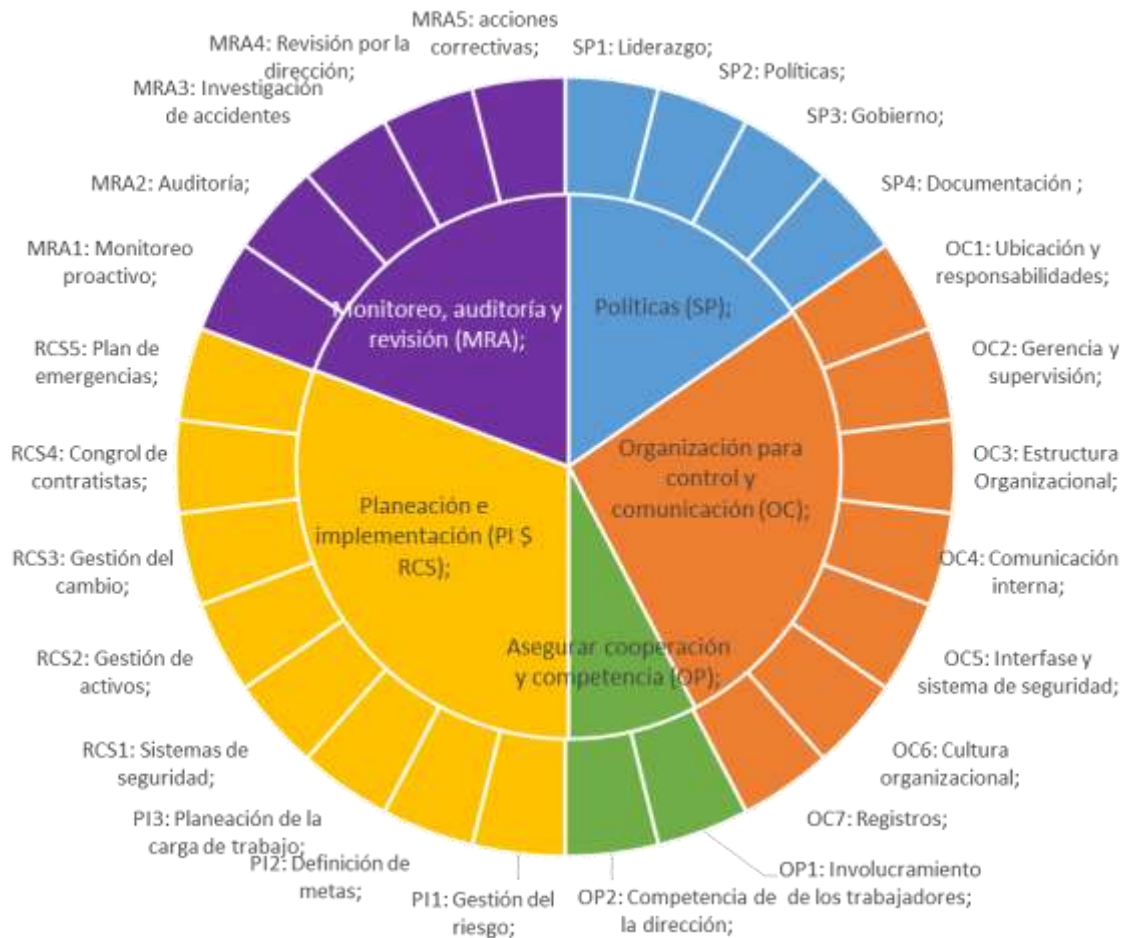
### ***2.1.7. Auditorías de conformidad***

Poder garantizar la sostenibilidad de un sistema de gestión en seguridad de procesos y tener herramientas suficientes para tomar medidas de prevención implica estar evaluando constantemente su cumplimiento y desempeño. Esto se logra mediante un programa de auditorías que permita tener una revisión periódica de que un proceso está operando seguro partiendo de 3 aspectos principales: Sistemas de gestión, desempeño humano y operación de equipos (Center for Chemical Process Safety, 2007)

Como auditoría se entiende una revisión independiente, periódica y sistemática para verificar el cumplimiento de los lineamientos establecidos, durante su realización no solamente se hace

inspección, sino también asesoría, evaluación y revisión de los planes (Center For Chemical Process safety, 2011)

**Figura 9.** Estructura modelo RM3



**Fuente:** (Office of rail and Road & Health and safety Laboratory, 2017)

El contenido y frecuencia de las auditorías dependerá de diferentes factores, como el nivel de madurez en que se encuentre la compañía, el punto en el ciclo de vida del proceso y el grado de implementación del sistema de gestión de seguridad y las prioridades de la compañía. En términos generales un sistema incipiente requeriría mayor frecuencia en su auditoría al igual que un sistema donde el riesgo percibido o el histórico de incidentes sea elevado. Es importante que estas auditorías las realice personal competente y entrenado para ello y todos los hallazgos sean

debidamente documentados para su cumplimiento y control (Center for Chemical Process Safety, 2007).

## 2.2. Conceptos verdes en la seguridad de procesos.

El concepto de seguridad en procesos encaja igualmente de forma conveniente en la tendencia de ingeniería verde, la cual aplica herramientas de ingeniería de procesos sostenibles y químicamente seguros (Poux et al., 2010; Saroha, 2009). Este concepto, más allá de ser una tendencia es una necesidad para la sociedad y se consolida como un elemento de competitividad, pues es el camino por el cual se podría producir más consumiendo menos (Poux et al., 2010).

Para definir la ingeniería verde y establecer criterios de identificación, Paul Anastas y John Warnen plantearon 12 principios (Poux et al., 2010), ver **Tabla 9**, entre los cuales se encuentra el ser inherentemente seguro y no peligroso indicando que se debe asegurar que todas las entradas y salidas de materiales y energía son inherentemente no peligrosas en la medida de lo posible, adicionalmente también plantea como lineamientos la prevención en vez de la corrección y sustentables a lo largo del ciclo de vida del proceso (Tang, Bourne, Smith, & Poliakoff, 2008).

**Tabla 9.** 12 Principios de ingeniería Verde

---

1 -	Inherentemente seguro y no peligroso
2 -	Minimizar diversidad de materiales
3 -	Prevenir en vez de tratar
4 -	Recursos, energía y materiales renovables
5 -	Producción bajo demanda
6 -	Muy simple
7 -	Eficiencia en el uso de materia, energía, espacio y tiempo
8 -	Minimizar el exceso y satisfacer la necesidad
9 -	Diseño para fácil separación
10 -	Redes de intercambio local de materia y energía
11 -	Probar el ciclo de vida del diseño
12 -	Sustentabilidad a lo largo del ciclo de vida

---

**Fuente:** (Tang et al., 2008)

Partiendo de estos criterios, la ingeniería verde se enfoca en el desarrollo y comercialización de procesos, reduciendo el riesgo para los humanos y el medio ambiente, dentro de la cual la química verde se enfoca en el diseño de productos y procesos que reduzcan o eliminen el uso o la generación de sustancias peligrosas (Poux et al., 2010). Alcanzar ausencia total del riesgo es prácticamente imposible y por lo que se procura lograr niveles tolerables de riesgo en las actividades que se realicen. En el caso de los procesos de producción esto implicará buscar el uso de los métodos más apropiados para identificar, gestionar y controlar los riesgos, reconociendo las prioridades, sin afectar las buenas prácticas industriales (Institute of Chemical Engineers, 2007).

Dentro del desarrollo de la ingeniería y la química verdes se tiene un segmento enfocado a materiales que aporten a este objetivo, para ello se tienen desarrollos en plásticos biodegradables, polímeros y otros materiales de fuentes renovables, catalizadores amigables con el medio ambiente y en general materiales que permitan disminuir la necesidad de materias primas, desperdicios, subproductos y a su vez reducir tamaños, tiempos, temperaturas y presiones de operación (Shaver, 2013), este es un ámbito que se encuentra constante desarrollo y día a día se avanza más en propuestas de este tipo de materiales, siendo esto una fuente poderosa para mejorar la seguridad en procesos. De forma contraria, se pueden considerar como materiales No verdes, todos aquellos compuestos químicos clásicos que tienen propiedades altamente tóxicas, combustibles o explosivos, un ejemplo de esto lo presentan Crowl y Louvar en el Apéndice G de su libro “Chemical process Safety” (Crowl & Louvar, 2011), de igual manera en la base de datos GESTIS (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, n.d.), se puede obtener bastante información sobre materiales de procesos e identificar su peligrosidad.

Las características de los materiales que se utilicen en un proceso determinado, definen en gran medida qué tanto impacto y peligro pueden implicar. Es por esto que es muy importante considerar los límites de operación, límites permisibles de exposición y valores de clasificación (Por ejemplo el manejado por la NFPA), con solo cambiar un material con características peligrosas, las condiciones del proceso en términos de seguridad pueden cambiar radicalmente (Crowl & Louvar, 2011).

De forma paralela, se desarrolló también el concepto de compras verdes, que consideran dentro de los criterios de selección de productos los factores anteriormente mencionados, considerándolo como una ventaja a lo largo del ciclo de vida de los materiales y el producto (Shaver, 2013)

### 2.3. Riesgos en procesos

La seguridad en procesos está enmarcada en la realidad de las industrias, cómo estas operan, sus prioridades, el mercado y el nivel de cambios a los que están expuestas. La situación de los mercados ha llevado a las industrias a reinventarse, a buscar cada vez ser más competitivas y rentables, a buscar nuevas materias primas y aprovechar al máximo los recursos invertidos.

#### *Perspectiva general de la Industria*

Se plantea una revisión de los sectores industriales de mayor participación y crecimiento en el mercado durante los últimos años y que dadas sus condiciones han presentado un mayor nivel de incidentes o accidentes, que le competen a la seguridad en procesos.

**Figura 10.** Número de eventos reportados por tipo de industria en eMARS de la comisión Europea en el periodo 2008-2018



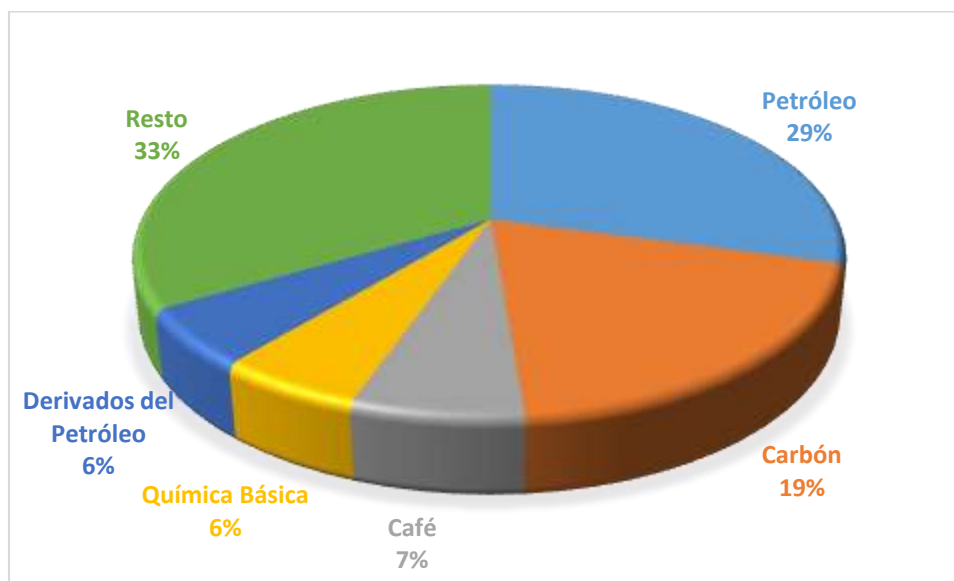
**Fuente:** (Comisión Europea, 2018)

En la Figura 10, se presenta el número de eventos reportados por la Comisión Europea en el periodo 2008-2018 por tipo de industria, resaltando una alta incidencia en los sectores químicos y

petroquímicos (incluyendo combustibles en general), así como en el procesamiento de metales, resaltando la importancia que toma la seguridad de procesos para estos sectores.

En el caso particular de Colombia, estas 2 industrias, junto con la producción de alimentos y la agroindustria son las que han presentado el mayor crecimiento en el último año con aportes importantes en exportaciones para el país (Oficina de estudios económicos & MINCIT, 2018). En la Figura 11 y Figura 12, se pueden apreciar los principales sectores de exportación para el país en el 2017 y los sectores que mayor variación positiva han tenido durante el último año según el índice de producción industrial del DANE, sin tener en consideración sectores financieros ni de servicios.

**Figura 11.** Principales sectores de exportación para Colombia en 2017



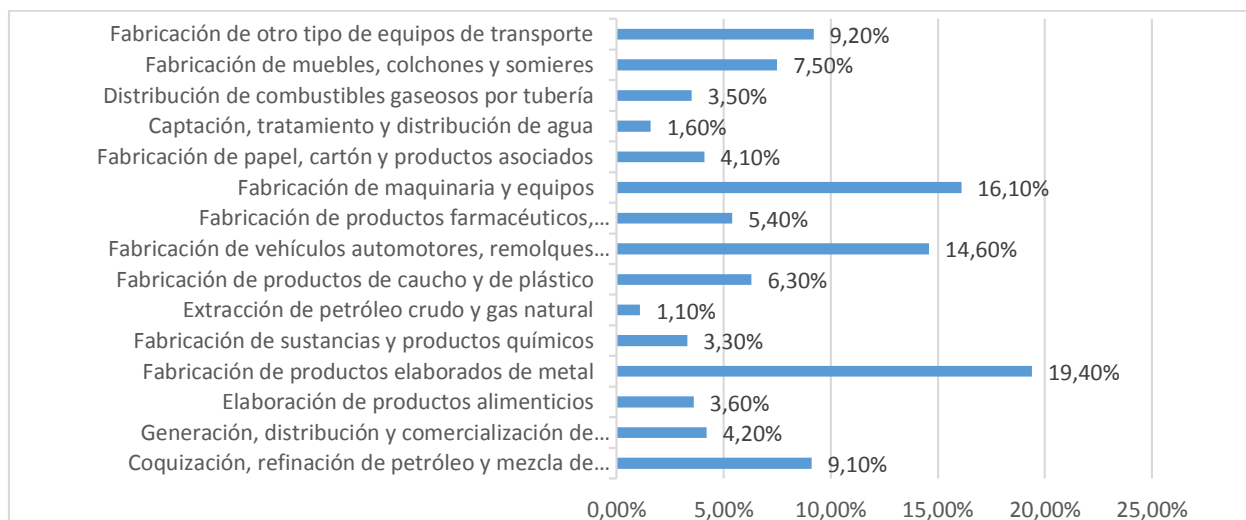
**Fuente:** (Oficina de estudios económicos & MINCIT, 2018)

### 2.3.1. *Industria Metalúrgica y Metalmeccánica*

La industria metalúrgica abarca actividades de fundido y refinado de metales ferrosos y no ferrosos a partir de minerales, lingotes o escorias de hierro, chatarra y arrabio para producir aleaciones de metales adicionando otros elementos químicos, generando así materias primas para otras industrias en variadas presentaciones. Para el caso de la metalmeccánica, esta industria

comprende la fabricación de productos de metal, tanto estáticos como móviles. Dentro de los elementos de fabricación se identifican estructuras, tanques, depósitos, armas, cuchillería y piezas de maquinaria entre otros. Incluye procesos como fundición, forja, prensado, estampado, laminado y pulvimetalurgia (DANE, 2012). Dentro de los materiales que se utilizan están metales que han de calentarse a altas temperaturas, lo que lleva a afrontar riesgos de incendios. Adicionalmente dentro de los elementos resultantes del procesos pueden surgir gases que contengan materiales tóxicos y peligrosos (Crowl & Louvar, 2011).

**Figura 12.** Variación del índice de producción industrial Agosto 2018 vs Agosto 2017



**Fuente:** (DANE, 2018)

### 2.3.2. *Industria Química*

La industria química puede ser vista tanto en química y sustancias, farmacéutica y petroquímica. En términos generales comprende la transformación de materias primas orgánicas e inorgánicas mediante procesos químicos generando tanto productos intermedios como finales. Se generan productos en todo tipo de presentaciones (líquidos, gases, sólidos, polvos) que son utilizados en todas las industrias. Dentro de los productos químicos se resaltan químicos básicos y de alta pureza, pesticidas y abonos, plásticos, pinturas y tintas, jabones, perfumes, explosivos e insumos, así como químicos de uso farmacéutico tanto humano como veterinario. En la rama petroquímica se tiene la separación del petróleo crudo en los distintos productos que lo componen mediante

destilación y otras técnicas, logrando productos como coque, gasolina, queroseno, fuel-oil y gases como etano, propano y butano. Igualmente se contempla la mezcla de combustibles y otros químicos en búsqueda de propiedades específicas (DANE, 2012). En términos generales es una industria que maneja sustancias peligrosas, que pueden ser inflamables, explosivas, tóxicas y reactivas (Crowl & Louvar, 2011).

### ***2.3.3. Industria de Alimentos***

La industria de alimentos contempla el procesamiento de los productos de la agricultura, la ganadería, la silvicultura y la pesca para convertirlos en alimentos y bebidas para consumo humano o animal, también genera varios productos intermedios que no están listos para su consumo directo y productos asociados de mayor o menor valor, como lo son cueros o bagazo. Abarca el procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos, pescados, crustáceos y mariscos, procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos, aceites y grasas, productos lácteos, almidones, productos del café y del azúcar, farináceos y comidas y platos preparados entre otros (DANE, 2012).

Utiliza materias primas muy variadas que bajo diferentes circunstancias pueden llegar a ser igualmente peligrosas.

### ***2.3.4. Agricultura.***

Esta rama de la industria comprende la explotación de recursos naturales vegetales y animales, contempla actividades de cultivo, cría y reproducción de animales, explotación maderera y la recolección de otras plantas, animales o productos animales en explotaciones agropecuarias o en su hábitat natural. Dentro de los principales tipos de cultivo se resaltan cereales, legumbres, semillas oleaginosas, hortalizas, raíces, tubérculos, tabaco, algodón y fibras, frutas, café, caña de azúcar, palma de aceite, flores, especias y demás productos agrícolas (DANE, 2012). Particularmente esta industria se encuentra más expuesta a riesgos ambientales y está relacionada con manejo de productos tóxicos como lo son los pesticidas.

## 2.4. Identificación de Riesgos en Procesos

El primer paso en un proceso de valoración de riesgos y peligros es definir y categorizar los peligros sobre los cuales se realizará la evaluación (Kokangül, Polat, & Dağsuyu, 2017). Para efectos del presente estudio, se considerarán únicamente los peligros de incendio, explosión y liberación de sustancias tóxicas ya que son los que atañen a la seguridad en procesos (American Institute of Chemical Engineers, 2016)

Se pueden caracterizar los peligros de estudio partiendo de las 3 macro categorías y realizando una subdivisión tomando como referencia la clasificación propuesta por la universidad de Cornell (Cornell University, 2018). Bajo esta propuesta se presentan 12 clases de peligros sobre los cuales realizar el análisis, ver Figura 13.

Figura 13. Propuesta de clasificación de peligros



Fuente: El autor

Adicionalmente es necesario establecer unas categorías de los principales causales de este tipo de eventos. Duguid propone 45 categorías, de las cuales 10 son las que tienen mayor incidencia

(Duguid, 2008), el sistema de información técnica de fallas y accidentes FACTS utiliza 5 elementos (TNO, n.d.) y el sistema de reporte de accidentes mayores MARS utiliza 4 grandes categorías (Comisión Europea, 2018), a todas estas se les añade la categoría “Desconocido”. En la Figura 14, se puede ver un resumen de estos planteamientos. Partiendo de ellos se propone utilizar la caracterización planteada por FACTS, ya que siendo resumida permite entender los principales focos de fallas.

**Figura 14.** Categorías de Causales



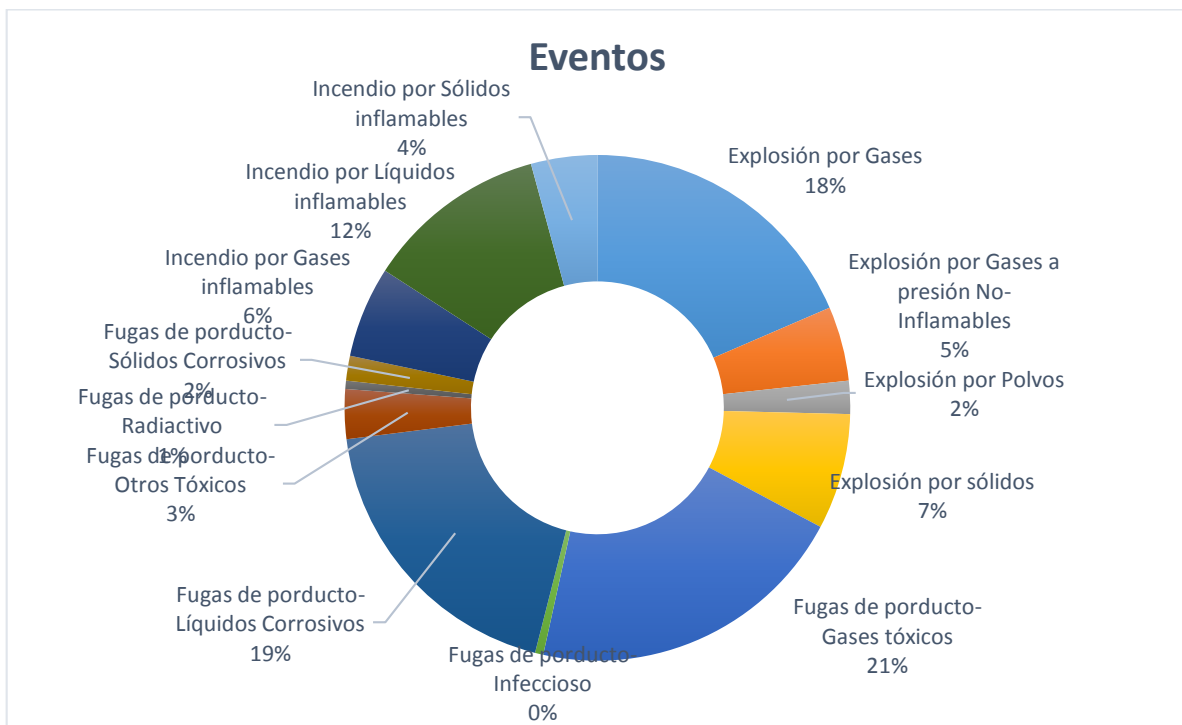
**Fuentes:** (Comisión Europea, 2018; Duguid, 2008; TNO, n.d.)

Dada esta clasificación se realizó una revisión de los accidentes reportados en MARS buscando identificar cuáles son los tipos de peligro con mayor incidencia y los principales tipos de causales, estos datos contemplan 919 reportes realizados entre Noviembre de 1979 y Agosto de 2018, de estas, 196 corresponde a la última década, siendo estas sobre las que se realiza el análisis. Con esto se encuentra que la mayor incidencia de eventos se tiene en fugas de producto, tanto gases como líquidos, los que suman un 40% de los eventos, seguido por las explosiones que en conjunto representan un 32%, ver Figura 15. Es conveniente resaltar que en la revisión de estos reportes, en la mayoría de los casos, los incidentes ocurren tras la liberación y falta de control de alguna de las

sustancias del proceso, la cual resulta en el incidente, bien sea contaminación o bien sea una explosión. Esto refuerza la importancia de considerar la naturaleza de las materias primas a utilizar para evaluar el nivel de riesgo que estas puedan representar.

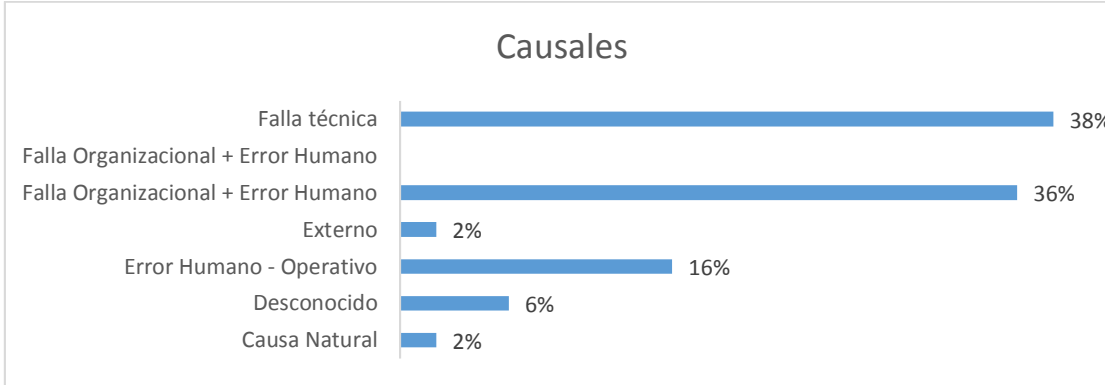
Ahora bien, dentro de las principales causales identificadas se encuentran Fallas técnicas, Fallas organizacionales que resultan en errores humanos y Fallas operativas a causa de errores humanos, ver Figura 16, lo que concuerda en gran medida con los hallazgos hechos por Khan y Abbasi (F. I. Khan & Abbasi, 2001), resaltando así la importancia de un sistema de gestión que ofrezca herramientas organizacionales para mitigar los riesgos, tanto desde la gestión, como desde la rigurosidad en las rutinas técnicas que mitiguen el surgimiento de fallas.

**Figura 15.** Distribución de eventos reportados en MARS durante la última década



**Fuente:** El autor

**Figura 16.** Incidencia de eventos reportados en MARS durante la última década según causales



**Herramientas de análisis de peligros (PHA)**

Como apoyo a la definición y seguimiento de estos indicadores, se han desarrollado diferentes herramientas para el análisis de peligros en procesos, las cuales pueden ser utilizadas según sea conveniente. En la Tabla 10 se presentan algunas de estas herramientas, se tienen herramientas cualitativas, cuantitativas o mixtas, siendo las cualitativas algo más intuitivo y de concepto, altamente dependientes del criterio de análisis, mientras que las cuantitativas requieren de mucha información previa para definir valores para su implementación. No obstante cada compañía deberá adaptarse a la herramienta que más le convenga a su operación, sin necesidad de que sea una única, inclusive la combinación de estas puede generar resultados complementarios que generen mucho valor para los análisis (Aven, 2016).

**Tabla 10.** Herramientas de análisis de peligros PHA

<b>¿Qué tal si? (What if?)</b>	<p>El objetivo de esta herramienta es identificar peligros, situaciones peligrosas o secuencias de estas mediante un ejercicio de lluvia de ideas entre expertos en el tema y en el proceso.</p> <p>Usualmente el resultado de este análisis es un listado de posibles situaciones con sus consecuencias, peligros, mecanismos de mitigación y planes de acción.</p> <p>Es una herramienta útil y eficiente cuando el personal tiene amplio conocimiento del proceso y sus peligros.</p>
<b>Listas de chequeo (Checklist)</b>	<p>El uso de listas de chequeo busca principalmente garantizar que se está cumpliendo con los requerimientos y estándares de operación. Esto puede también ser utilizado</p>

	<p>para identificar ciertos tipos de peligros predefinidos y situaciones potencialmente riesgosas.</p> <p>Se puede combinar su uso con la herramienta “¿Qué tal si?”, para obtener un análisis más robusto.</p>
<p><b>Estudio de peligros y operatividad (Hazard and operability study HAZOP),</b></p>	<p>El objetivo de HAZOP es revisar cuidadosamente y de forma sistemática un proceso para determinar desviaciones de diseño o problemas operativos que puedan llevar a situaciones indeseadas.</p> <p>Requiere información detallada del proceso.</p> <p>Para su desarrollo se hace un recorrido por el diseño de la planta (o proceso) utilizando una serie de palabras “guía” en puntos específicos “nodos de estudio”.</p> <p><u>Algunas de las principales palabras guía son:</u> No / Menos / Más / Parte de / tanto como / Reverso o inverso / Otro</p> <p><u>Algunos de los principales parámetros de proceso son:</u> Flujo, Presión, temperatura, nivel, tiempo, composición, pH, velocidad, frecuencia, viscosidad, voltaje, información, mezcla, adición, separación, reacción.</p> <p>Como resultado se obtiene una lista de desviaciones con sus respectivas causas, consecuencias, medidas de seguridad y acciones.</p>
<p><b>Análisis de modo y efecto de Falla (Failure mode and effects analysis FMEA),</b></p>	<p>FMEA tabula las formas en que un equipo o proceso puede fallar y los efectos potenciales de esto. A diferencia del HAZOP, lista todos los posibles modos de falla, lo que lo hace menos eficiente, pero sirve para establecer el peor de los escenarios.</p> <p>Por esto es necesario siempre definir claramente el problema de estudio antes de iniciar un análisis para finalmente documentarlo.</p> <p>Como resultado se logra una lista similar a la obtenida por HAZOP, en la que se listan los equipos, los modos de falla, efectos, medidas de seguridad y acciones a tomar.</p>
<p><b>Análisis de árbol de fallas (Fault tree analysis – FTA)</b></p>	<p>El FTA busca identificar la combinación de fallas (tanto humanas como de equipo), que puedan resultar en un incidente en específico. Este método plantea un análisis más especializado, por lo cual es recomendado principalmente en procesos con seguridades redundantes o donde otros análisis ya han indicado un riesgo elevado en un aspecto particular.</p> <p>Es una herramienta gráfica deductiva que utiliza elementos lógicos booleanos, con los que se determina cada una de las situaciones que pueden llevar a que el incidente ocurra.</p>

<p><b>Análisis cuantitativo del riesgo (Quantitative Risk Analysis - QRA)</b> (Aven, 2011)</p>	<p>El QRA es un método de análisis de riesgos basado en la cuantificación utilizando probabilidades, en relación con sus causas y consecuencias, determina el nivel de riesgo como función de un evento causal “A”, una serie de consecuencias “C”, una probabilidad “P”, incertidumbres “U” y un conocimiento previo “K”, entre los cuales se determinan relaciones matemáticas que permiten determinar de forma numérica un grado de riesgo, el cual se evaluará según el nivel de tolerancia.</p>
<p><b>Análisis de capas de protección (Layer of protection analysis – LOPA)</b> (Willey, 2014)</p>	<p>Esta herramienta se utiliza para analizar de forma simplificada un escenario de incidente (una causa- un efecto).                  Esta define el riesgo en función de la frecuencia y la severidad de las consecuencias potenciales. Evalúa cómo una desviación en el proceso puede llevar a una consecuencia de peligro si no es interrumpida por una capa de protección independiente (IPL por sus siglas en inglés). Los principales tipos de capas de protección que se plantean son:                  Diseño del proceso                  Controles básicos, alarmas de proceso y supervisión                  Alarmas críticas, supervisión e intervenciones manuales                  Acciones automáticas                  Protecciones físicas (primera capa)                  Protecciones físicas (Segunda capa)                  Plan de respuesta de emergencias de la planta                  Plan de respuesta de emergencias a la comunidad.</p> <p>Siendo evaluado bajo el siguiente modelo matemático:</p> $f_i^c = IEF_i * \prod_{j=1}^n PFD_{ij}$
<p><b>Análisis de peligros mayores (Major Hazards Analysis MHA)</b> (Baybutt, 2003)</p>	<p>Este método parte de las bases anteriormente planteadas, pero enfoca esfuerzos en los eventos que puedan culminar en incidentes mayores, como lo son incendios, explosiones o emisiones tóxicas. Estas situaciones inician principalmente por fugas, por lo que el modelo inicia por este modo de falla y puede continuar con análisis como los demás métodos analizando consecuencias, medidas de seguridad y recomendaciones.</p>

**Fuente:** (American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety., 2008)

## **2.5. Conclusiones**

Partiendo de los temas presentados en este capítulo se puede concluir que la seguridad en procesos es un tema de real importancia en la industria y al cual las diferentes entidades de seguridad alrededor del mundo le han dedicado esfuerzos en generar estándares y normativas que sirvan para guiar a las empresas y disminuir la incidencia de los grandes incidentes y accidentes, incluso para el caso de Colombia hay una adaptación que es aplicable. Muchas de estos estándares plantean un marco de ejecución amplio el cual puede medirse mediante criterios de madurez, al igual que plantean mecanismos de análisis y evaluación del riesgo, los cuales permiten dejarlo declarado y medido. El tipo de materiales que se utilizan en los procesos y sus características son elementos determinantes en la seguridad del proceso, conocerlos para darles un buen manejo, así como buscar materiales sustitutos, puede ser un cambio radical en la seguridad.

Finalmente garantizar un correcto manejo de la seguridad en los procesos puede significar un factor de competitividad y sostenibilidad importante, el cual al combinarlo con un pensamiento de procesos verdes puede potenciar aún más el nivel de sostenibilidad de una compañía. Esta última interacción ha sido poco estudiada y puede ser un campo interesante para este tema, ya que por su naturaleza, el pensamiento en procesos e ingeniería verde parten de una condición inherentemente segura, ofreciendo así una alternativa con mayores beneficios.

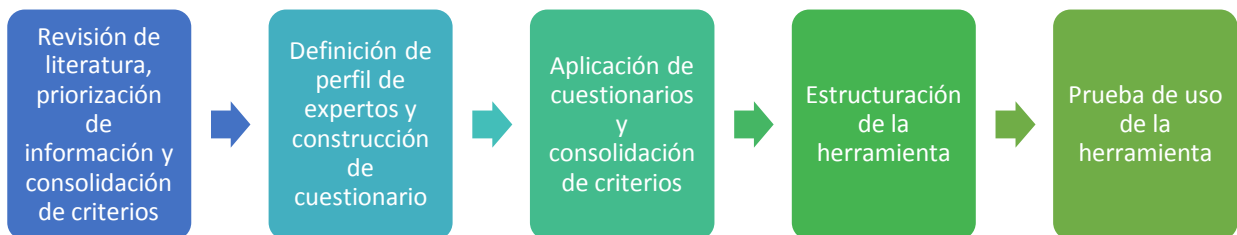
### 3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta propuesta se parte de la revisión de literatura presentada en el capítulo 2, con la cual se establece el marco de estudio y se definen los principales criterios de diagnóstico. Con estos criterios se consulta a un panel de expertos tomando como partida la metodología Delphi con una única sesión, para luego estructurar la herramienta de diagnóstico, uniendo el conceso de expertos obtenido y la información recolectada.

#### 3.1.Descripción de la Metodología

En la Figura 17 se presenta el flujo de trabajo realizado para el planteamiento de esta herramienta de diagnóstico. En la primera etapa se obtuvo la información de referencia. Con esta se procedió a estructurar la consulta a expertos buscando validar la relevancia del proyecto, aspectos importantes a considerar y priorizar los elementos de mayor importancia a ser incluidos dentro de la herramienta. Esta consulta se extendió a un panel de 15 expertos provenientes de diversos campos con relevancia en seguridad de procesos, quienes presentaron sus puntos de vista. Una vez obtenida esta información se consolida la herramienta de diagnóstico, siendo esta un compendio de los factores de mayor impacto identificados durante la revisión de literatura y el concepto de los expertos.

Figura 17. Flujo de trabajo de la metodología utilizada



Fuente: El autor

#### 3.2.Consulta a expertos

Como se presentó anteriormente se escogió un modelo Delphi simplificado que permitiera obtener información del criterio de expertos y así poder establecer un consenso sobre el tema de

estudio y el contenido básico general que ha de abordar la herramienta de diagnóstico. Por este motivo, se definió el siguiente perfil para los expertos a consultar:

- Profesionales con mínimo 5 años de experiencia académica asociada a sistemas de gestión en seguridad de procesos, incluye profesores y consultores.
- Profesionales con mínimo 8 años de experiencia industrial asociada a sistemas de gestión en seguridad de procesos, incluye asesores y profesionales del sector productivo industrial.
- Profesionales con mínimo 5 años de experiencia en gestión de proyectos.
- Profesionales con experiencia académica en sistemas de gestión.

Partiendo de este perfil, se invitó a participar a 15 expertos entre los que se tenían profesores universitarios, asesores industriales, consultores y gerentes del sector industrial.

El cuestionario que se presenta en el Anexo 1. se estructuró buscando validar la pertinencia y relevancia del desarrollo de una herramienta de este estilo, unificando criterio de los diferentes modelos de gestión y el apalancamiento de estos mediante la implementación de conceptos de ingeniería de procesos verde, para finalmente recolectar los puntos que consideran más relevantes al momento de analizar un sistema de gestión en seguridad de procesos.

Tras esta consulta se obtuvieron los siguientes resultados:

- Catorce de los 15 expertos consideran trascendental que las organizaciones dispongan de un sistema de gestión en seguridad de procesos, lo que resalta la importancia de hacer esto más accesible para las compañías
- El 60% de los expertos considera relevante la integración de los diferentes modelos en gestión de seguridad de procesos. Esto sugiere que si bien no es de alta relevancia, puede aportar una mejora en su uso e implementación.
- El total de los expertos considera de gran valor poder ofrecer a las organizaciones una herramienta para valorar el PSM y establecer una línea base como punto de partida para la

mejora del proceso, resaltando la evaluación cuantitativa como un mecanismo de gran valor.

- El 86,7% de los expertos considera que la inclusión de conceptos de química e ingeniería verde en PSM puede aportar a la mejora en la seguridad de los procesos, dando así mayor relevancia a la inclusión de esta temática como un eje de implementación.
- En promedio, este panel de expertos prioriza los elementos de un sistema de gestión en seguridad de procesos según el siguiente orden, siendo el primer elemento el de mayor relevancia.
  - I. Liderazgo, compromiso de la dirección y comunicación con los interesados
  - II. Selección de personal, competencia y participación de los trabajadores
  - III. Identificación de peligros y valoración del riesgo
  - IV. Identificación y cumplimiento con la legislación y los estándares
  - V. Gestión del cambio
  - VI. Auditorías, control de trabajo, permisos de trabajo y gestión del riesgo de tareas
  - VII. Diseño del proceso y selección de materiales, contratistas y proveedores
  - VIII. Documentación, procedimientos operativos, registros y gestión del conocimiento
  - IX. Inspección y mantenimiento
  - X. Ingeniería y procesos verdes
- 10 de los expertos encuentran relevante la integración de procesos e ingeniería verde con la seguridad de procesos, lo que sugiere el tema como un complemento útil, mas no indispensable.
- Los principios de ingeniería verde que consideran de mayor importancia e influencia en sistemas de gestión en seguridad de procesos son:
  - XI. Sustentabilidad a lo largo del ciclo de vida
  - XII. Prevenir en vez de tratar
  - XIII. Inherentemente seguro y no peligroso
  - XIV. Recursos, energía y materiales renovables
  - XV. Eficiencia en el uso de materia, energía, espacio y tiempo

- Los factores que sugieren como los más relevantes al momento de hacer una evaluación de seguridad en procesos, se pueden resumir en los siguientes:
  - Compromiso de la dirección y el personal, liderazgo, cultura, y alineación con la estrategia competitiva.
  - Conocimiento y estandarización del proceso.
  - Identificación de riesgos.
  - Mantenimiento de equipos.

Es de resaltar que en general la mayoría de los consultados indica el compromiso de la dirección y el personal como un factor importante, lo que lo refuerza como un elemento indispensable para ser incluido en la herramienta, de igual manera ocurre con el diagnóstico y la identificación de riesgos. Adicionalmente es interesante encontrar consideraciones de validación del impacto-beneficio y alineación con la estrategia de la compañía, pues esto da lineamientos del nivel de riesgo que la organización está dispuesta a correr.

El detalle de estas respuestas puede ser encontrado igualmente en el Anexo 1.

### **3.3. Instrumento de Evaluación**

Con esta información, se procede a estructurar la herramienta de diagnóstico de los sistemas de seguridad de procesos. Como se planteó inicialmente, se busca que este instrumento sea intuitivo y sencillo de aplicar, de forma tal que las empresas puedan acudir a él como un primer paso en el camino de la seguridad en procesos, sin la necesidad de un amplio conocimiento en el tema. Por esta razón, se propone estructurar el instrumento de diagnóstico en forma de un cuestionario con respuestas Si, No y No sé, que el personal de la compañía pueda responder de forma rápida y que permita obtener una visual general de la situación de la empresa.

El objetivo de este cuestionario es indagar sobre la existencia o ausencia de los principales elementos que conforman un sistema de gestión en seguridad de procesos. Como se presentó en la sección 2.1.2, la mayoría de estándares cubren en general los mismos elementos, que a pesar de tener algunas variaciones, son en esencia homólogos y consideran los mismos conceptos. Así pues, partiendo de estos modelos, que ya han sido probados y que son estándar, se estructura la

herramienta en 5 capítulos (Políticas, organización, Compromiso y cooperación, Análisis del procesos y de riesgos, Monitoreo y mejoramiento), tomando como referencia principalmente el RBPS e integrado con la estructuración de evaluación propuesta por el modelo RM3 (Center for Chemical Process Safety, 2007; Office of rail and Road & Health and safety Laboratory, 2017), por estos se nombra la herramienta **POCAM**, dadas las siglas de los elementos en los capítulos. Al compararlos con los elementos presentados en la Tabla 2 y en la Tabla 3, se puede ver concordancia entre los conceptos.

Para realizar un diagnóstico más acertado en cada uno de estos capítulos, se subdividen a su vez en factores de evaluación que consideren elementos más específicos de lo que significa un sistema de gestión en seguridad de procesos, similar a la estructura propuesta por el modelo RM3 y los componentes presentados en la Tabla 3, de forma tal que se pueda indagar por factores y comportamientos específicos, permitiendo mayor cobertura de los aspectos más relevantes para un PSM. En la Figura 18 se presenta esta estructura con los capítulos y los factores seleccionados a partir de los componentes principales que presentan los modelos estándar.

Como un elemento adicional a los presentados por los modelos analizados previamente, se incluyen Procesos Verdes dentro del análisis del proceso y de riesgos. Como se indicó en la sección 2.2, este concepto engloba muchos aspectos que buscan lograr la sostenibilidad del proceso; para que un proceso sea sostenible también debe ser seguro para su operación y su entorno. Es por esto que se considera pertinente también incluir unos aspectos muy puntuales de ésta temática, ya que si se cumplen de forma consistente los principios de la química verde, junto con esta se podrán garantizar muchos de los aspectos primordiales en seguridad. Generar un eje de trabajo en las plantas, que cubra esta condición, no solo aportará a la seguridad, sino a la sostenibilidad del proceso, siendo mucho más benéfico.

**Figura 18.** Factores POCAM



**Fuente:** El autor

Así pues, el cuestionario se construye analizando cada uno de los factores propuestos anteriormente a la luz de comportamientos, documentos o procedimientos que describan su existencia y vigencia, se plantean preguntas que se consideran relevantes para poder evaluar cada uno de ellos. Es el resultado de una exploración detallada de cada factor, que sin pretender entrar en el más profundo detalle de cada uno, busca determinar si existen o no ciertas medidas o circunstancias dentro de la operación y si estas hacen parte de la cotidianidad de la compañía, en la Tabla 11 se indican los principales objetivos de indagación que se plantearon para cada factor. Partiendo de esto fue necesario en algunos factores establecer muchas preguntas, mientras que en otros sólo con una o dos preguntas se consideró suficiente para obtener la información de diagnóstico inicial deseada. Se resalta la indagación en lo que respecta a los materiales utilizados, pues como se indicó anteriormente, las características de los materiales son determinantes en el grado de peligro que se introduce al proceso, de igual manera ocurre con integridad y gestión de

activos así como las barreras y sistemas de seguridad, que como se identificó en la revisión realizada en la sección 2.4, se constituyen en los principales factores que conllevan a accidentes.

**Tabla 11.** Objetivos de consulta por factor

<b>Factores</b>	<b>¿Qué se quiere indagar?</b>
Liderazgo	Visibilidad de un líder pendiente de la operación
Políticas - Normatividad	Existencia y conocimiento de normatividad interna que incluya aspectos de seguridad.
Gobierno	Hay alguien definido que toma decisiones y dirige la compañía
Procedimientos operativos	Se tienen documentada y divulgada la forma de operar
Ubicación y responsabilidades	Posibles riesgos inherentes a la ubicación y estructura de la compañía
Gerencia y supervisión	Existe supervisión
Estructura Organizacional	Hay una estructura definida que orienta la toma de decisiones
Comunicación interna	Existe un canal de comunicación que divulgue temas de seguridad
Sistema de seguridad	Existen los principales sistemas o instalaciones de seguridad
Cultura organizacional	Existe una cultura organizacional, que genere conexión con los trabajadores, los haga partícipes de lo que ocurre en la compañía y contempla aspectos de seguridad.
Registros (histórico de incidentes y accidentes)	Se tienen registros de lo que ha ocurrido
Planeación de la carga de trabajo	Se planea el trabajo
Competencia de la dirección	La dirección conoce la operación y sus riesgos
Compromiso e involucramiento de los trabajadores	Los trabajadores están comprometidos con la seguridad y participan en su construcción
Ingreso de personal	Hay mecanismos de control para el ingreso de personal, nuevo y externo
Entrenamiento	Hay entrenamiento previo a que el personal opere en el proceso
Descripción y conocimiento del proceso	Se conoce y está documentado el proceso, sus etapas, sub-productos, riesgos, límites y condiciones de seguridad
Variables de control (Incluye rangos)	Se conocen las variables y límites de operación del proceso, así como las energías necesarias para este
Equipos (Tipos, antigüedad, confiabilidad)	Tipos de equipos utilizados, antigüedad y confiabilidad

Materiales	Se conocen y están documentados los materiales que intervienen en el proceso, sus riesgos y uso de materiales peligrosos
Definición de metas operativas	Concordancia entre la dirección y la operación
Procesos Verdes	Inclusión de conceptos de ingeniería verde en el proceso
Integridad y gestión de activos	Se realiza correcto seguimiento y mantenimiento a los equipos para garantizar su integridad y mitigar los riesgos
Identificación de peligros y análisis de riesgos	El personal conoce los peligros y riesgos asociados al proceso y se hacen inspecciones periódicas
Barreras y sistemas de seguridad	Existen elementos, procedimientos o equipos para mitigar el impacto de incidentes
Gestión del riesgo	Hay un esquema para gestionar los riesgos
Gestión del cambio	Los cambios son divulgados y se garantiza una única forma de operar
Administración de contratistas	Se controla el trabajo de los contratistas
Permisos de trabajo	Se requieren permisos de trabajo para evitar situaciones de riesgo
Plan de emergencias	Existe un esquema de plan de emergencias
Mejoramiento continuo	La compañía está en pro de mejorar, lo que incluye también aspectos de seguridad
Auditorías	Hay un esquema de auditorías
Investigación de accidentes	Los accidentes e incidentes se investigan y documentan
Revisión por la dirección	La dirección también es informada sobre los temas que conciernen a la seguridad

**Fuente:** El autor

En general estas preguntas se plantean buscando determinar el grado de avance de la organización en la implementación de un PSM, sin embargo también se plantean preguntas que permitan proporcionar algunas recomendaciones generales en forma de una matriz ERIC y a su vez generar inquietudes dentro de la compañía, que le permitan mejorar sus condiciones de seguridad en procesos. En el Anexo 2. Cuestionario de diagnóstico, se puede encontrar este listado final de preguntas seleccionadas. Si bien este cuestionario se ve extenso, su construcción no se limitó a una cantidad definida, sino a las preguntas que fueran necesarias para obtener la información que se desea recolectar, no se concibió como una consulta al público, sino como una herramienta que con disciplina y honestidad diligenciará la empresa que esté con disposición a

incursionar en la gestión de seguridad de procesos para su mejoramiento. Adicionalmente, dado el tipo de preguntas, se logra facilitar y agilizar su respuesta en búsqueda de no fatigar a quienes presenten el cuestionario (Smith, 2017).

Este instrumento podrá ser aplicado dentro de las organizaciones a cualquier nivel que tenga por lo menos 6 meses de permanencia en la compañía, en actividades relacionadas con la operación productiva o dirección. Esto, para garantizar que se tenga un grado mínimo de experiencia en la forma que opera la compañía y contacto con las temáticas que en esta son evaluadas. Si bien la herramienta se puede aplicar a una única persona, es recomendable que se realice con un grupo de trabajadores diverso, que permita captar diferentes visuales y que abarque cargos desde el nivel operativo hasta el directivo, esto permitiendo también mitigar el sesgo que pueda tener un evaluador en particular respecto a este tema. Para procurar que sea una muestra representativa se recomienda aplicar al número de trabajadores sugerido en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.** Recomendación de tamaño de aplicación de la herramienta

Número de trabajadores	Número de consultas	Comentarios
Menos de 15	Mín 10 o el total de la población	Debe incluir director/Gerente y jefe
16-30	Min 13	O el máximo posible con más de 6 meses en el
Más de 30	20	proceso. Debe incluir director/Gerente y jefe.

**Fuente:** El autor

### **3.4. Matriz de evaluación**

Dado que con este cuestionario se busca establecer el grado de evolución que tiene la compañía en lo que respecta a la implementación de elementos necesarios para la gestión en seguridad en procesos y que una de las recomendaciones obtenidas en el numeral 3.2 es utilizar un método cuantitativo, se selecciona el modelo de la matriz EFE-EFI, ya que permite realizar la evaluación y presentar estos resultados de una forma sencilla.

Para esto, se debe asignar a cada uno de los factores declarados anteriormente su ámbito de influencia (Si es externo o interno) y una ponderación dentro del global de los factores. Esto se realiza partiendo de la clasificación dada por los expertos en la pregunta 8. En la Tabla 13, se

puede ver la ponderación asignada y la clasificación a la que corresponden cada uno de estos factores.

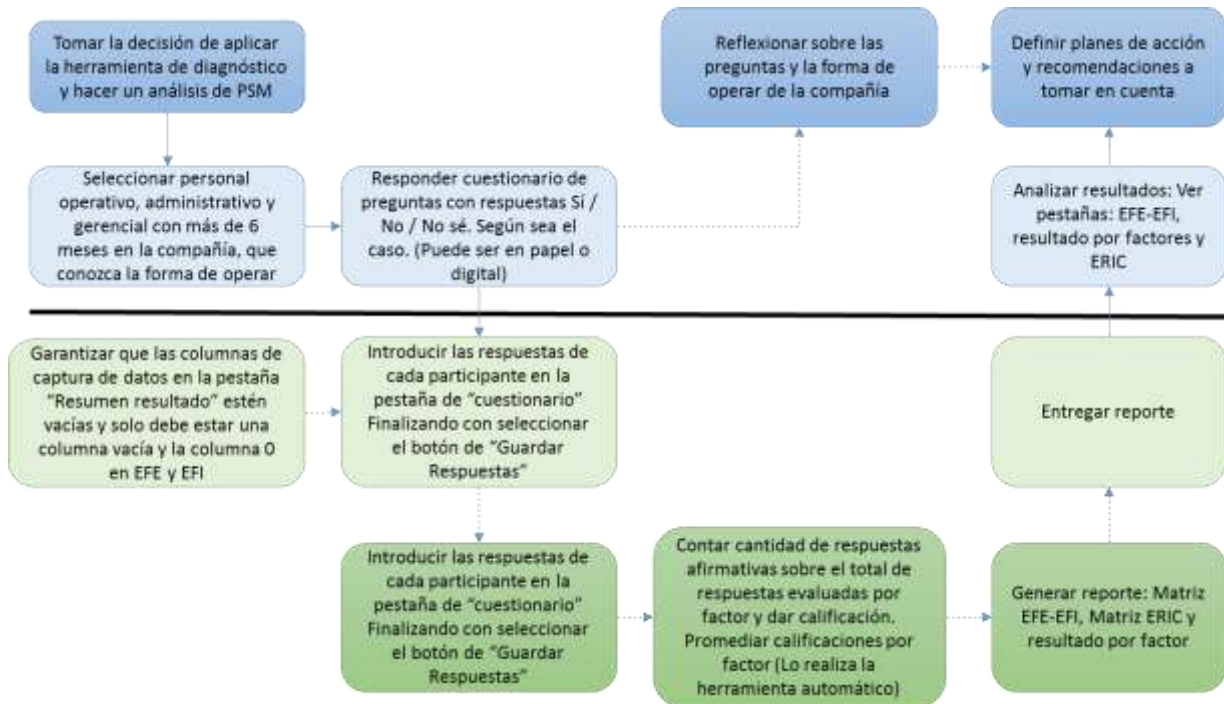
**Tabla 13.** Ponderación de factores

Capítulos	Factores	EFE	EFI	Clasificación
Políticas	Liderazgo	NA	3,9%	1
	Políticas - Normatividad	8%	NA	4
	Gobierno	8%	NA	4
	Procedimientos operativos	NA	3,3%	4
Organización	Ubicación y responsabilidades	5%	NA	7
	Gerencia y supervisión	NA	2,8%	6
	Estructura Organizacional	NA	3,8%	2
	Comunicación interna	NA	3,9%	1
	Sistema de seguridad	NA	3,5%	3
	Cultura organizacional	NA	3,9%	1
	Registros (histórico de incidentes y accidentes)	NA	2,4%	8
	Planeación de la carga de trabajo	NA	3,9%	1
Compromiso y cooperación	Competencia de la dirección	NA	3,9%	1
	Compromiso e involucramiento de los trabajadores	11%	3,8%	2
	Ingreso de personal	11%	3,8%	2
	Entrenamiento	NA	3,8%	2
Análisis del proceso y gestión de riesgos	Descripción y conocimiento del proceso	NA	2,6%	8
	Variables de control (Incluye rangos)	NA	2,7%	7
	Equipos (Tipos, antigüedad, confiabilidad)	NA	2,7%	7
	Materiales	5%	2,7%	7
	Definición de metas operativas	5%	2,7%	7
	Procesos Verdes	2%	2,5%	10
	Integridad y gestión de activos	NA	2,7%	9
	Identificación de peligros y análisis de riesgos	NA	3,5%	3
	Barreras y sistemas de seguridad	NA	3,5%	3
	Gestión del riesgo	NA	3,5%	3
Gestión del cambio	NA	3,2%	5	

	Administración de contratistas	6%	2,8%	6
	Permisos de trabajo	6%	2,8%	6
	Plan de emergencias	6%	2,8%	6
Monitoreo, auditoría y revisión	Mejoramiento continuo	NA	2,4%	8
	Auditorías	6%	2,8%	6
	Investigación de accidentes	9%	3,5%	3
	Revisión por la dirección	12%	3,9%	1

Fuente: El autor

Figura 19. Flujo propuesto para la implementación de la herramienta



Fuente: El autor

Cada uno de estos factores recibirá una calificación entre 0 y 5 según las respuestas que se obtengan a las preguntas, siendo 0 la ausencia de elementos que conforman el factor a evaluar dentro de la forma de operar de la compañía y 5 el cumplimiento total. Es importante resaltar que una calificación de 5 no significará que ya se tienen cubiertos todos los elementos necesarios de un factor en particular, sino que se tiene una buena estructura de gestión que con su sostenimiento

y correcta operación, permitirá buenos resultados en seguridad de procesos. Cada una de estas calificaciones se multiplica por la ponderación asignada y con esto se obtendrá una calificación global de factores externos y una calificación global de factores internos. La herramienta puede ser aplicada a varios trabajadores y al introducir los resultados, esta misma los almacena y promedia las respuestas a cada uno de los factores. En la Figura 19 se presenta el diagrama de flujo de la forma en que funciona la herramienta.

### **3.5. Propuesta de instrumento diagnóstico**

El objetivo de esta herramienta no es evitar un análisis más profundo del proceso, sino hacer una verificación inicial que sirva de guía para identificar riesgos y condiciones básicas, así como para generar reflexión sobre el proceso y las medidas de seguridad adicionales que puedan llegar a ser necesarias, promoviendo análisis más profundos en los elementos de mayor relevancia, por este motivo, junto con las preguntas se busca indagar entre otros sobre el grado de información que se tiene partiendo de los capítulos y factores planteados anteriormente orientado con los indicadores sugeridos por la literatura (Swuste et al., 2016).

Así pues, se propone presentar los resultados en forma de diagnóstico en 3 esquemas diferentes y complementarios. El primer diagnóstico busca dar una visual general de la condición en que se encuentra el proceso, para ello se selecciona el formato de matriz EFE-EFI, que permitirá presentar esta condición de forma gráfica y a partir de este definir el grado de avance global que se tiene en el sistema de gestión en seguridad de procesos. Si bien esta herramienta no busca hacer una evaluación de madurez, si se ve conveniente adoptar una categorización similar a las utilizadas por los sistemas de madures presentados en la sección 2.1.6, el establecer una escala facilita el entendimiento de la condición, la definición de metas y planes de trabajo. La mayoría de los modelos de madurez que se expusieron presentan un flujo lógico de desarrollo partiendo de una condición en la que no se tiene consideración alguna respecto a la seguridad en procesos, pasando por tomar acciones correctivas cuando ocurra un incidente, establecer controles generales, realizar planes de mitigación periódicos, hasta llegar a una forma de operar en constante análisis, retroalimentación y mitigación de situaciones de riesgo. Tomando estos como referencia y ajustándolos a los factores de evaluación, se plantea una escala de avance para esta herramienta,

que integre los modelos evaluados, como se presenta en la **Tabla 14**, en esta se presentan también los comportamientos esperados en cada una de estas etapas y una escala numérica en la que se enmarcan dada la calificación de la matriz, esta escala se puede ver de forma gráfica en la Figura 20, lo que permite entender de forma más sencilla su significado. Esta le permitirá a la empresa identificar en qué ámbitos debe fortalecer su gestión y a su vez generar conciencia de su grado de avance, para así establecer planes de mejoramiento y desarrollo concretos y medibles.

**Tabla 14.** Grado de avance propuesto en el diagnóstico

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango EFE</b>	<b>Rango EFI</b>
Básico	La empresa tiene únicamente los planes de gestión transversal y no tiene amplio conocimiento de su proceso	De 0 a 2	De 0 a 1,5
Reactivo	La empresa tiene en general algunos planes de gestión transversal e implementa algunas medidas para afrontar los riesgos	De 2 a 3	De 1,5 a 2,75
En desarrollo	Existen procedimientos y medidas iniciales de control que ayudan a mitigar los riesgos y a impulsar la gestión general	De 3 a 4 * De 0 a 0,5	De 2,75 a 3,5 *De 2,75 a 5
Mejoramiento	Existen muchos de los aspectos básicos que conforman un sistema de gestión en seguridad de procesos.	Menor a 4,5 en ambas dimensiones y mayor a los valores anteriores.	
Avanzado	Casi todos los aspectos básicos de la gestión en seguridad de procesos han sido implementados y se tienen planes para mejoramiento y análisis de riesgos.	Mayor a 4,5 en ambas dimensiones	

**Fuente:** El autor

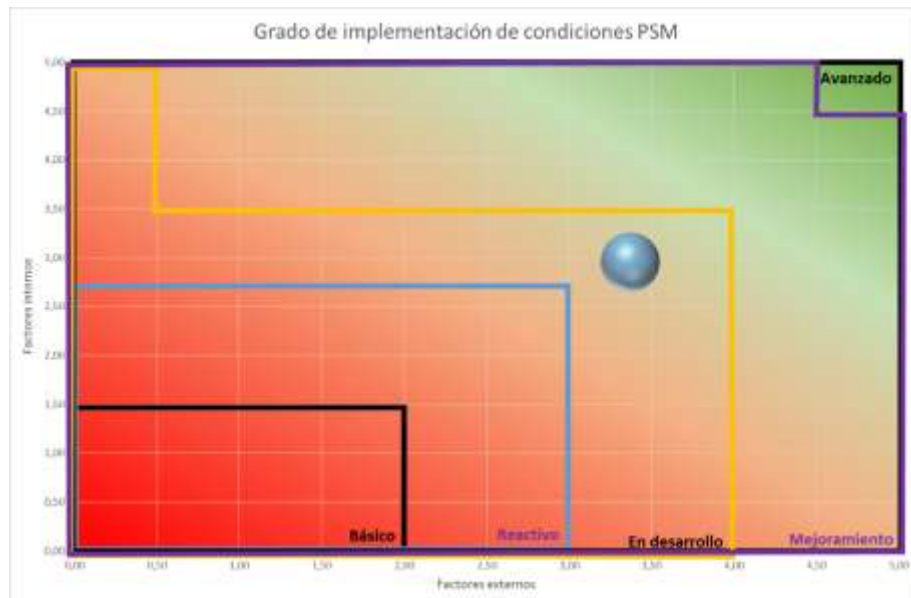
Este diagnóstico, se ve complementado con el resultado de la calificación individual por factores, que se presenta en forma de un gráfico radial, ver Figura 21. Con esto, la empresa podrá identificar los factores en los que se tienen las principales debilidades y establecer sus metas de mejoramiento específicas y planes de trabajo.

Adicionalmente se ofrece una tercera herramienta de diagnóstico, que se presenta a modo de una matriz ERIC (Eliminar, Reducir, Incrementar, Crear). Esta herramienta se consolida a partir de una serie de recomendaciones genéricas, que se presentan según las respuestas que se obtengan

en el cuestionario. Particularmente hay algunas preguntas cuyo objetivo es únicamente recolectar información que permita generar recursos para dar recomendaciones más acertadas con esta herramienta. Es importante resaltar que estas recomendaciones son genéricas y cada empresa habrá de adaptarlas y ajustarlas según su realidad y sector empresarial.

Este conjunto de herramientas de diagnóstico son orientativas y finalmente será responsabilidad de cada empresa la implementación o no de estas recomendaciones, la definición del grado de evolución que se desee obtener y la calidad de la información y herramientas que disponen.

**Figura 20.** Matriz EFE-EFI modelo de diagnóstico



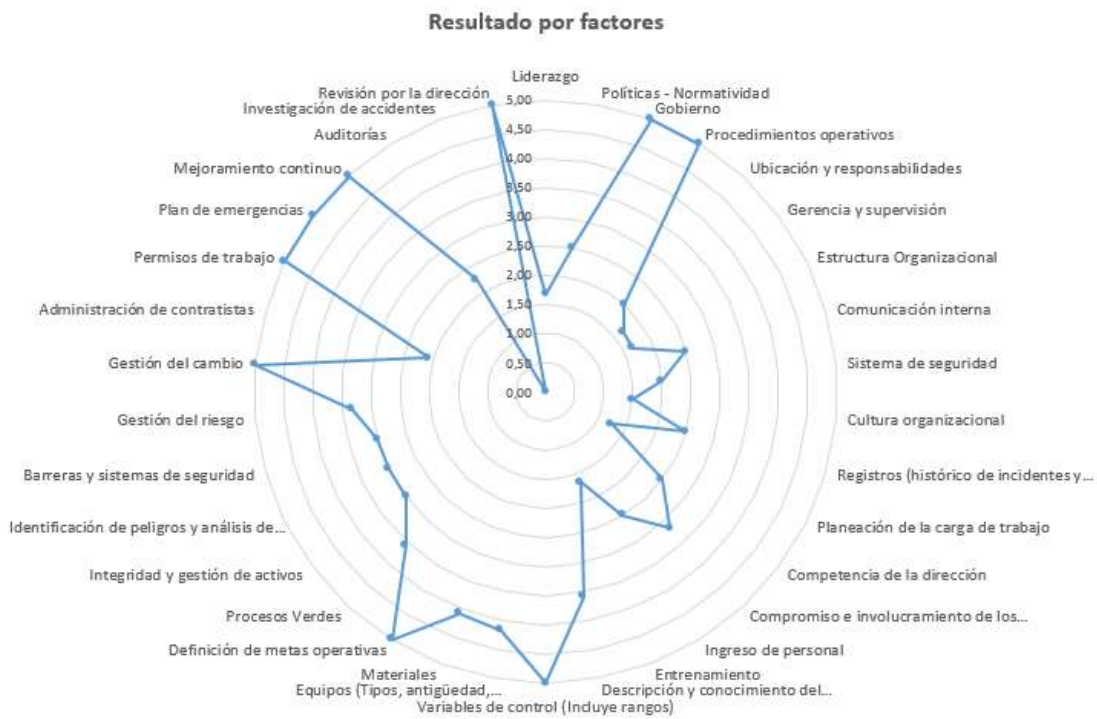
**Fuente:** El autor

No siempre es necesario establecer como objetivo lograr un nivel avanzado, esto dependerá del contexto de la empresa y el negocio en general. Adicional y de forma general, se recomienda a las empresas implementar indicadores asociados a la seguridad de procesos, tal como el listado sugerido por Swuste (Swuste et al., 2016):

- Cantidad por periodo de tiempo de alarmas y fallas
- Frecuencia Exposición a materiales o actividades peligrosas
- Estado de seguridad

- Número de incidentes
- Frecuencia y cantidad de Fugas
- Frecuencia y costos de incendios y explosiones
- Frecuencia y cantidad de pérdidas de contenido
- Número de fallas en diseño
- Número de fallas en mantenimiento y control de calidad
- Número de fallas en pruebas
- Frecuencia de activación de los sistemas de seguridad
- Número de instalaciones inherentemente seguras
- Número de desviaciones del proceso
- Frecuencia de falla de los sistemas de seguridad
- Cantidad de almacenamiento de sustancias peligrosas

**Figura 21.** Modelo de Diagnóstico por factor



**Fuente:** El autor

Si bien tener claros, medidos y diagnosticados todos los incidentes que ocurran en el proceso no garantizará la total implementación de un PSM, sí aportará herramientas muy importantes en el conocimiento del proceso y el análisis de los posibles riesgos, que a su vez serán insumo para poder afrontarlos y mitigarlos. Por este motivo se resalta esta recomendación.

## **4. RESULTADOS**

Hasta este punto, se ha planteado el fundamento teórico de esta propuesta y se han establecido las herramientas de evaluación y diagnóstico. Ahora bien, estas serán aplicadas a un caso de la vida real en la industria, para evaluar su comportamiento en aplicación, coherencia con el sector productivo y efectividad en el diagnóstico y recomendaciones generales.

### **4.1. Caso de estudio**

Para esto, se escoge un caso de estudio “alfa”, sobre el cual se tiene conocimiento previo, al que se aplica la herramienta y de esta manera permite revisar los resultados logrados.

#### **4.1.1. Descripción del caso alfa**

Se selecciona como caso de estudio el proceso productivo de un producto alimenticio con un alto contenido en azúcar, tanto pulverizada como azúcar cristal. Este proceso contiene etapas de dispensación, mezcla, transporte y procesamiento, manejando lotes de aproximadamente 400kg, momentos en que el azúcar se encuentra en dispersión, generando una condición de riesgo de explosión, recipientes a presión y altas cargas electrostáticas.

Por estas condiciones el proceso ya ha tenido algunas asesorías externas, ha implementado previamente algunas medidas de mitigación, tanto estructurales como operativas, ha sido necesario realizar procesos de capacitación al personal y generar compromiso de los trabajadores, así que ya se tiene un avance importante en condiciones de documentación, seguimiento y monitoreo, por lo que se esperaría que al aplicar este diagnóstico obtenga un resultado de “Mejoramiento”.

#### 4.1.2. Aplicación de la herramienta

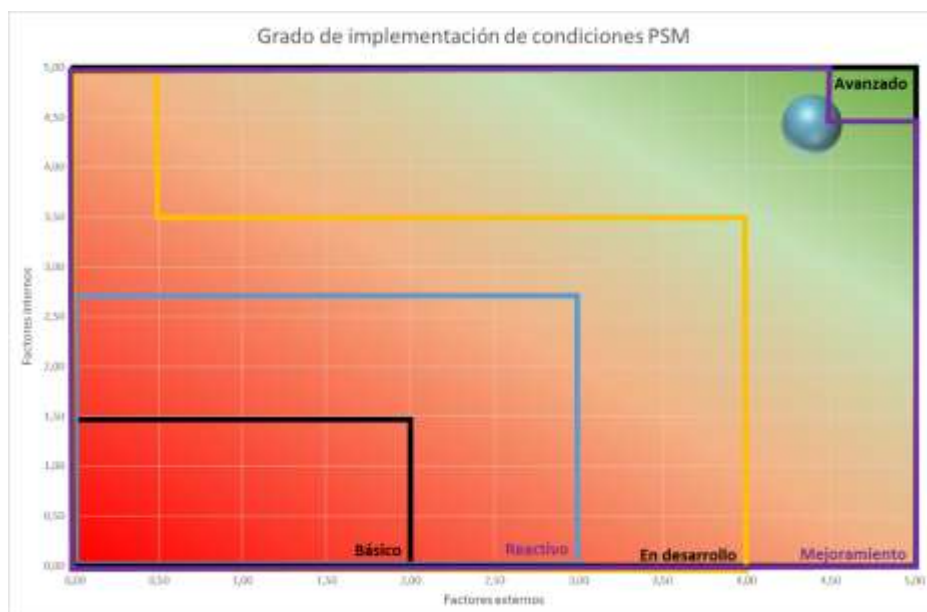
Para aplicar la herramienta se solicita a la planta 2 operarios entre los de mayor experiencia en este proceso productivo, 1 técnico de mantenimiento, líder de producción y mantenimiento, 1 personal del área de calidad y el Gerente de la planta.

La aplicación de la herramienta se realiza de forma manual, para lo cual requiere entre 20 y 30 minutos, se realiza al tiempo entre personal del mismo nivel jerárquico y en dos días se consolidan todos los cuestionarios. Se entregan únicamente las preguntas, sin indicar a qué capítulo o factor corresponden ni la ponderación que recibirán.

#### 4.1.3. Resultados

Tras la aplicación de estos cuestionarios, se introducen las respuestas de cada participante dentro de la herramienta digital. Esta evalúa cada una de las respuestas y va almacenando los resultados. El consolidado se logra con el promedio de la calificación asignada a cada factor y aplicando la ponderación EFE-EFI a este promedio. Así pues, se obtienen los resultados presentados en la Figura 22 y la Figura 23.

Figura 22. Resultado EFE-EFI aplicación de la herramienta en caso Alfa

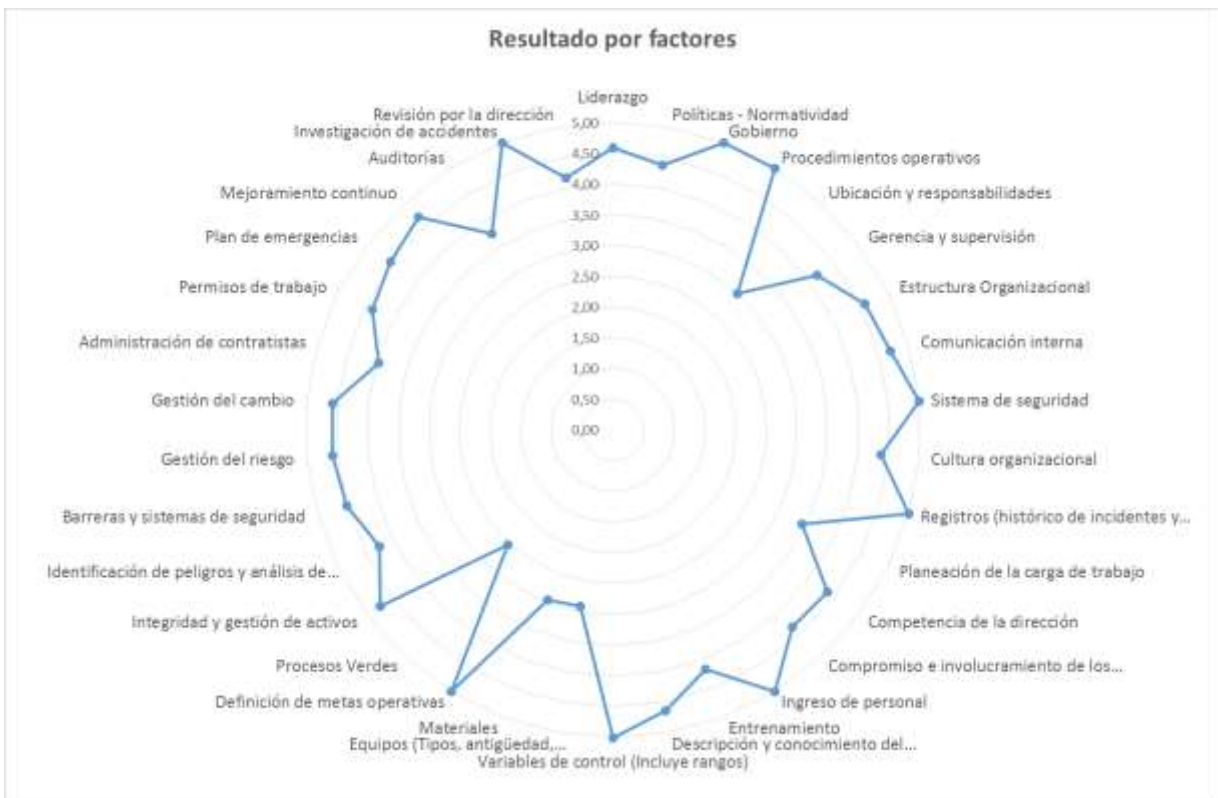


Fuente: El autor

En esta evaluación se encuentra una ponderación general de 4,39 para factores externos y 4,42 para factores internos, lo que en términos generales ubicaría a este proceso en una condición de mejoramiento en seguridad de procesos. El resultado se encuentra en el límite superior de la categoría esperada. Dentro de los factores con mayores oportunidades se resaltan “Ubicación y Responsabilidades” y “Procesos Verdes”.

De igual manera en la Tabla 15 se presentan como matriz ERIC las recomendaciones que genera la herramienta para que la empresa continúe con la implementación del sistema de gestión en seguridad de procesos y no pierda atención en los elementos fundamentales dentro de su operación. Es importante resaltar, como se mencionó anteriormente, que una calificación madura en esta herramienta no significa que todo está cubierto, sino que se tiene una forma de operar que abarca los principales temas fundamentales para la seguridad en procesos.

**Figura 23.** Resultado por factores de la implementación de la herramienta en caso alfa



**Fuente:** El autor.

**Tabla 15.** Matriz ERIC propuesta para el caso Alfa

<b>ELIMINAR</b>	<b>REDUCIR</b>
<p>Elimine puntos y procedimientos en que puedan ser golpeados los equipos.</p> <p>Elimine en la medida de lo posible el uso de recipientes a presión.</p> <p>Elimine el uso de solventes que puedan ser tóxicos.</p>	<p>Garantice que todos los elementos de la red de vapor se encuentren en buenas condiciones, con mantenimiento y revisión periódica. Procure reducir la presión y consumo de vapor necesarios</p> <p>Garantice que todos los elementos de la red de aire comprimido se encuentren en buenas condiciones, con mantenimiento y revisión periódica. Procure reducir la presión y consumo de aire necesarios.</p> <p>Cantidad de producto volátil en el proceso.</p> <p>Inventario de productos tóxicos y peligrosos en planta.</p>
<b>INCREMENTAR</b>	<b>CREAR</b>
<p>Divulgue los sub-productos y desechos que genera el proceso, aclarando su nivel de riesgo</p> <p>Garantice el mantenimiento y verificación de integridad de los recipientes a presión</p>	<p>Cree planes para reducir los lotes de producción y disminuir los inventarios de materiales peligrosos en planta.</p> <p>Evalúe posibles materiales verdes sustitutos para su proceso.</p> <p>Revise y divulgue a todo el personal las características y riesgos de los materiales que se utilizan en el proceso, así como sus límites de operación segura.</p>
<b>NO OLVIDE</b>	
<p>Lleve registro de los incidentes y accidentes que ocurran e implemente análisis con planes de acción para evitar que estos vuelvan a ocurrir.</p> <p>Mantener las rutinas periódicas de verificación de condiciones de seguridad en los equipos e integridad mecánica.</p> <p>Mantener las áreas operativas y los equipos limpios, esto le permitirá identificar fallas antes de que ocurra un accidente.</p> <p>Tenga siempre presente los límites de seguridad de los materiales que utiliza y explore opciones alternativas más seguras y sostenibles</p> <p>Siempre que realice un cambio en el proceso analice los posibles riesgos que este implica.</p>	

**Fuente:** El autor

#### **4.2. Análisis y conclusiones**

Con los resultados obtenidos de la prueba en el caso alfa, se puede ver que la herramienta desarrollada es de fácil implementación, en poco tiempo permite obtener una visual de la condición de la compañía y entregar un diagnóstico de la situación en seguridad de procesos, con esto se logra uno de los principales objetivos planteados, facilitando una primera etapa de evaluación para las compañías, sin necesidad de hacer un análisis profundo con expertos.

En el caso de estudio se esperaba lograr un resultado de avance en “mejoramiento”, el cual se obtuvo en su límite superior, este resultado se puede comparar de forma referencial con la escala propuesta por Tüv-Süd, que según las respuestas obtenidas en cada uno de los factores se cumplen los 3 primeros niveles y se encuentra en desarrollo el 4to; se evidencia una cultura, se realizan análisis de peligros, se tienen elementos de diseño enfocados en la seguridad, hay elementos de control y mitigación y hay procesos de auditoría, no está tan claro un sistema de medición de desempeño, aunque sí hay algunos procesos de comunicación. De esta manera, bajo este esquema podría también catalogarse el proceso entre “sustentabilidad” y “mejora continua”, que es coherente con el resultado obtenido en la herramienta.

Si bien la herramienta permite hacer una evaluación y otorga una calificación con una tendencia indicativa, es muy importante resaltar que esta únicamente conforma un primer paso para las empresas que quieren incursionar en la seguridad de procesos y su alcance abarca sólo lo general sobre la existencia de mecanismos, planes y programas. Su resultado debe ser tomado de forma orientativa y por ningún motivo se debe considerar como un criterio absoluto, pues si bien aún con un buen resultado en esta herramienta sigue siendo necesario implementar medidas adicionales y seguramente aún existirán muchas oportunidades, que con un análisis más profundo y detallado surgirán.

El componente de la matriz ERIC como conjunto de recomendaciones adicionales, permite hacer un llamado a esta reflexión y es de suma importancia que estas recomendaciones no se pierdan del radar. De igual manera, se identifica que es importante aplicar esta herramienta al personal gerencial y directivo, invitándolos a que la diligencien de manera autocrítica. Las

preguntas del cuestionario además de permitir una evaluación, también invitan a reflexionar sobre la forma en que se está operando y desde un nivel directivo, pueden originar importantes planes de acción y de verificación que tengan un impacto positivo en la seguridad de la compañía.

## **CONCLUSIONES**

Como conclusión del desarrollo de esta tesis, se encuentra que en el ámbito de la gestión en seguridad de procesos hay muchos planteamientos, todos válidos en su campo de acción y en general con un grado de especialización en ciertos sectores industriales. Este grado de especialización requiere de igual manera experticia en el tema y en el proceso por parte del analista del proceso, lo que a su vez se constituye en una barrera para aquellas empresas pequeñas que quisieran incursionar en la gestión de la seguridad de procesos y así evitar accidentes. Más del 90% del panel de expertos consultados concordó en que es trascendental para una compañía poder tener un sistema de gestión en seguridad de procesos e importante disponer de una herramienta cuantitativa que permita establecer una línea base sobre la cual medirse, por lo cual es relevante generar un instrumento que sirva para que este tipo de empresas puedan incursionar de una forma más sencilla en este ámbito.

Igualmente se encuentra pertinente poder tomar los diferentes elementos propuestos por los modelos, para consolidar una guía general que abarque los principales aspectos y así le permita a las empresas tener una mayor cobertura sobre su operación; si bien esta integración no se identifica como trascendental por parte de los expertos, más de la mitad lo ve conveniente ya que permite ver condiciones generales y agrupa los principales lineamientos.

Estos lineamientos principales son recurrentes en la mayoría de los modelos de PSM que ya existen y han sido validados y sobre ellos se construye el fundamento de estos sistemas de gestión. Dentro de estos lineamientos se resalta como primordial la decisión y disposición del personal y de la dirección, un genuino deseo por operar de forma segura, esto seguido por la documentación del proceso y análisis de riesgos, así como gestión del cambio, diseño del proceso, condiciones de los equipos y de los materiales. Adicionalmente se encuentran otros factores que lo complementan, tales como comunicación, mejoramiento continuo y manejo de contratistas. Todos estos son factores que en mayor o menor medida pueden ser considerados e implementados por una empresa y de esta forma mejorar sus condiciones de seguridad sin gran dificultad.

Es por esto, que en la herramienta propuesta en este trabajo se buscan integrar estos elementos, que ya han sido validados, para que así de una forma sencilla, de fácil aplicación e incluyendo los elementos principales para una condición inicial de PSM, se pueda generar una línea base que permita establecer una primera hoja de ruta. Partiendo de ello fue posible desarrollar esta herramienta de evaluación a modo de cuestionario, basado en 5 capítulos o ejes de evaluación que agrupan los principales elementos, por el cual se tituló POCAM (Políticas, Organización, Compromiso y cooperación, Análisis del proceso y de riesgos, Monitoreo y mejoramiento).

Este cuestionario, aunque puede parecer extenso, es sencillo de responder. Maneja tres ejes principales, un primer eje que indaga sobre la existencia o no de los elementos fundamentales de un PSM, un segundo eje que a partir de los principales riesgos identificados en la industria en general, indaga sobre condiciones que pudieran ser inseguras o de gran atención y un tercer eje que contempla la inclusión de conceptos de procesos e ingeniería verde, ya que el cumplimiento de estos, por su naturaleza, generará condiciones más seguras y sostenibles, no solo para el proceso, sino también para su entorno.

Esta herramienta no sólo busca diagnosticar, sino que a su vez, por medio de las preguntas, busca generar conciencia y reflexión sobre la forma en que se están realizando las operaciones, para que a partir de ello surjan mejoras o ajustes al proceso, que quizás no estén en la misma herramienta. La herramienta también entrega los resultados en una gráfica de clasificación, que hace mucho más intuitivo su entendimiento. Esta se aplicó a un caso de estudio a varios trabajadores asociados a un mismo proceso que previamente había sido asesorado en seguridad de procesos y había implementado varias medidas de gestión y control. Con esto, se obtuvieron resultados similares en cada una de las aplicaciones y cercanos a lo esperado, que al compararse según concepto con la escala de Tüv, se logra ver una relación coherente al calificar el proceso en condición “en mejoramiento”.

Adicionalmente los materiales que se utilizan en los procesos tienen una incidencia elevada en la seguridad del proceso, por lo cual es muy importante prestar atención a las propiedades de los materiales que se utilizan y la manera en que estos se manipulan, pues pueden causar una diferencia

muy grande en las condiciones. Finalmente la tendencia en procesos e ingeniería verde puede ser un elemento de apoyo para la implementación de un sistema en seguridad de procesos, ya que por la naturaleza de sus planteamientos, tienden a cubrir las necesidades de un PSM.

Con esto se puede concluir que aunque hay diferentes metodologías de gestión en seguridad de procesos, los conceptos básicos son similares y gracias a esto es posible hacer una integración de ellos. En este caso, esto permite hacer un diagnóstico inicial general y rápido de los principales elementos de un PSM dentro de una organización que está iniciando en este tema, sin la necesidad de acudir en primera medida expertos externos, cubriendo con esto los objetivos planteados.

Se resalta que la herramienta desarrollada en este trabajo busca ofrecer un primer acercamiento al PSM para las compañías y por esto mismo hay muchos detalles y elementos que en su particularidad y en la especificidad de cada proceso que lo aplique, será recomendable profundizar en ellos según la necesidad y experticia requerida. Cada uno de los capítulos del esquema POCAM podrá ser desglosado en muchos factores de estudio adicionales y cada empresa podrá profundizar en aquellos que sean más relevantes. Se identifica igualmente que el implementar rigurosamente y en su cabalidad los principios de ingeniería verde, llevará de la mano la mejora en las condiciones de seguridad en procesos así como sostenibilidad, por lo cual es altamente recomendable continuar los desarrollos en este ámbito, particularmente en lo que respecta a la caracterización, identificación e industrialización de materiales que cumplan para procesos verdes.

Por último, se recomienda utilizar esta herramienta como un inicio y seguimiento, más no limitarse únicamente a ella y continuar el proceso de PSM apoyado en otros conceptos de las demás metodologías.

## Lista de Referencias

- ABB. (2017). Process Safety Management ( PSM ) For the hazardous process industries The benefits of improved process safety, 8.
- American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety. (2008). *Guidelines for hazard evaluation procedures*.
- American Institute of Chemical engineers. (2016). *Guidelines for Implementing Process Safety Management Systems*. (John Wiley & Sons Inc, Ed.) (2nd ed.). Hoboken, New Jersey.
- American Institute of Chemical Engineers, I. (2016). *Introduction to process safety for undergraduates and engineers. A CCPS concept book*. New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc. Retrieved from <http://www.worldcat.org/oclc/953197614>
- Aven, T. (2011). *QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT - The Scientific Platform* (1st ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Baybutt, P. (2003). Major hazards analysis: An improved method for process hazard analysis. *Process Safety Progress*, 22(March), 21–26.
- Besserman, J., & Mentzer, R. A. (2017). Review of global process safety regulations: United States, European Union, United Kingdom, China, India. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 50, 165–183. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.09.010>
- Bont, S. De. (2014). *Safety Maturity Tool - The next step for improving Safety Performance*. Retrieved from <https://www.platts.com/IM.Platts.Content/ProductsServices/ConferenceandEvents/2014/pc479/presentations/Sandra-de-Bont.pdf>
- Casal, J. (2008). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial*

- Plants*. (Centre for Studies on Technological Risk, Department of Chemical Engineering, & Universitat Politècnica de Catalunya, Eds.). Barcelona: Elsevier.
- Center for Chemical Process Safety. (2006). *The Business Case for Process Safety*.  
<https://doi.org/10.2118/1213-0099-JPT>
- Center for Chemical Process Safety. (2007). *GUIDELINES FOR RISK BASED PROCESS SAFETY*. New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc.
- Center For Chemical Process safety. (2011). *Guidelines for Auditing Process Safety Management Systems* (Vol. 30). Retrieved from  
<https://books.google.com/books?id=HZ0soPJ6CWAC&pgis=1>
- Comisión Europea. (2018). eMARS. Retrieved November 1, 2018, from  
<https://emars.jrc.ec.europa.eu/en/emars/statistics/statistics>
- Consejo Colombiano de Seguridad. (2016). *Guía del Sistema de Seguridad, Salud en el Trabajo y Ambiente para Contratistas RUC®*, 95. Retrieved from  
[http://ccs.org.co/img/OAUPE009\\_GUIA\\_PARA\\_CONTRATISTAS\\_RUC\\_REV\\_16\\_2016\\_02\\_17\(2\).pdf](http://ccs.org.co/img/OAUPE009_GUIA_PARA_CONTRATISTAS_RUC_REV_16_2016_02_17(2).pdf)
- Cornell University. (2018). *Hazardous Materials Shipping (DOT)*. Retrieved November 1, 2018, from  
<https://sp.ehs.cornell.edu/lab-research-safety/research-safety/hazardous-materials-shipping/Pages/default.aspx>
- Crowl, D. A., & Louvar, J. F. (2011). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. (P. Boger, B. Goodwin, J. Fuller, E. Ryan, M. Housley, B. Wood, & J. Lewis, Eds.) (3rd ed.). Boston: Pearson Education.
- DANE. (2012). *CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL INTERNACIONAL UNIFORME DE TODAS LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS*. Bogotá.
- DANE. (2018). *ÍNDICE DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL*.

- DEKRA Process Safety. (2019). *4 Metrics Every Safety Scorecard Needs*. (DEKRA Process Safety, Ed.). Oxnard, CA. Retrieved from <https://www.dekra.us/en/organizational-safety-reliability/four-metrics-every-safety-scorecard-needs/>
- Duguid, I. M. (2008). ANALYSIS OF PAST INCIDENTS IN THE PROCESS INDUSTRIES. In *IChemE*.
- Dupont. (2008). DuPont Process Safety Management Operating on the Edge. Retrieved from [http://www2.dupont.com/DuPont\\_Safety\\_Resources/en\\_SG/assets/downloads/PSM\\_Brochure.pdf](http://www2.dupont.com/DuPont_Safety_Resources/en_SG/assets/downloads/PSM_Brochure.pdf)
- DuPont. (n.d.). DuPont-Bradley Curve. Retrieved October 30, 2018, from <http://www.dupont.com/products-and-services/consulting-services-process-technologies/brands/sustainable-solutions/videos/bradley-curve-video.html>
- Energy Institute. (2010). High level framework for process safety management, *44*(October), 7–28.
- Environmental Protection Agency, E. (2009). 40 CFR Part 68. In *GENERAL GUIDANCE ON RISK MANAGEMENT PROGRAMS FOR CHEMICAL ACCIDENT PREVENTION (40 CFR PART 68)* (p. 55). Retrieved from <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-11/documents/appendix-a-final.pdf>
- Goncalves Filho, A. P., & Waterson, P. (2018). Maturity models and safety culture: A critical review. *Safety Science*, *105*(December 2017), 192–211. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.02.017>
- Icontec. (2011). Gestión del riesgo principios y directrices NTC-ISO 31000, (571), 1–12.
- Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. (n.d.). GESTIS. Retrieved February 16, 2019, from [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&v\\_id=gestisdeu:sdbdeu](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/000000.xml?f=templates&fn=default.htm&v_id=gestisdeu:sdbdeu)

- Institute of Chemical Engineers. (2007). A Roadmap for 21st Century Chemical Engineering, (May).
- ISO. (2009). ISO 31000:2009 Risk management - Principles and guidelines. *Risk Management, 31000*, 24. [https://doi.org/ISBN 978-1-86975-127-2](https://doi.org/ISBN%20978-1-86975-127-2)
- ISO. (2018). Sistemas de Gestion de la Seguridad y Salud en el Trabajo 45001:2018. *Order A Journal On The Theory Of Ordered Sets And Its Applications, 2009*, 58.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. . (2001). Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 14*(1), 85. [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(00\)00016-4](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(00)00016-4)
- Khan, F., Rathnayaka, S., & Ahmed, S. (2015). Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. *Process Safety and Environmental Protection, 98*, 116–147. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.07.005>
- Knegtering, B., & Pasma, H. J. (2009). Safety of the process industries in the 21st century: A changing need of process safety management for a changing industry. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22*(2), 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.11.005>
- Kokangül, A., Polat, U., & Dağsuyu, C. (2017). A new approximation for risk assessment using the AHP and Fine Kinney methodologies. *Safety Science, 91*, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.07.015>
- Li, Y., & Guldenmund, F. W. (2018). Safety management systems: A broad overview of the literature. *Safety Science, 103*(May 2017), 94–123. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.11.016>
- Mohd Shariff, A., Abdul Aziz, H., & Abdul Majid, N. D. (2016). Way forward in Process Safety Management (PSM) for effective implementation in process industries. *Current Opinion in Chemical Engineering, 14*, 56–60. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2016.08.006>
- Office of rail and Road, & Health and safety Laboratory. (2017). *RM3-The Risk Management*

- Maturity Model* (2nd ed.). York: Advanced Imaging Solutions, HSL.
- Oficina de estudios económicos, & MINCIT. (2018). *Perfil Colombia*.
- Ogp. (2008). Asset integrity – the key to managing major incident risks. *International Association of Oil & Gas Producers*, 415(12).
- OSHA. (2011). Process Safety Management. *Concise Guide to Workplace Safety and Health, 2000*, 315–324. <https://doi.org/10.1201/b11069-30>
- Parker, D., Lawrie, M., & Hudson, P. (2006). A framework for understanding the development of organisational safety culture. *Safety Science*, 44(6), 551–562. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.10.004>
- Poux, M., Cognet, P., & Gourdon, C. (2010). *Green Process Engineering From Concepts to Industrial Applications*. Paris: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Sarnie, R. W. (2016). Best Practices in Process Safety It ' s Not Just for Chemical Plants & Refineries. Retrieved from [https://www.aiha.org/get-involved/LocalSections/NewEngland/Resources/Presentations/Sarnie\\_PSM\\_Presentation\\_2016 - 3 examples with no videos.pdf](https://www.aiha.org/get-involved/LocalSections/NewEngland/Resources/Presentations/Sarnie_PSM_Presentation_2016_-_3_examples_with_no_videos.pdf)
- Saroha, A. K. (2009). Green Process Engineering. *Indian Chemical Engineer*, 51(2). <https://doi.org/10.1080/00194500903361215>
- Shaver, M. P. (2013). Editorial. *Green Materials*, 1(1), 19–21. <https://doi.org/10.1680/gmat.12.00004>
- Smith, S. (2017). How to design a questionnaire. *Practical Tourism Research*, 61–86. <https://doi.org/10.1079/9781845936327.0061>
- Stemn, E., Bofinger, C., Cliff, D., & Hassall, M. E. (2018). Failure to learn from safety incidents: Status, challenges and opportunities. *Safety Science*, 101(September 2017), 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.09.018>

- Stoker, P. P. W. (2014). Effective implementation of process safety management K Naicker  
Dissertation submitted in fulfilment of the requirements for the degree Master in Engineering  
at the Potchefstroom Campus of the Supervisor :, (May).
- Swuste, P., Theunissen, J., Schmitz, P., Reniers, G., & Blokland, P. (2016). Process safety  
indicators, a review of literature. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40,  
162–173. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.12.020>
- Tang, S. Y., Bourne, R. A., Smith, R. L., & Poliakoff, M. (2008). The 24 Principles of Green  
Engineering and Green Chemistry: “IMPROVEMENTS PRODUCTIVELY.” *Green  
Chemistry*, 10(3), 268–26. <https://doi.org/10.1039/b719469m>
- TNO. (n.d.). FACTS. Retrieved November 1, 2018, from <http://www.factsonline.nl/browse-chemical-accidents-in-database>
- TÜV Süd. (n.d.). Process Safety Excellence Kienbaum.
- TÜV Süd. (2006). Process safety, 38–39. <https://doi.org/10.1016/j.jchas.2006.07.003>
- Willey, R. J. (2014). Layer of protection analysis. *Procedia Engineering*, 84, 12–22.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.405>