



Universidad Internacional de La Rioja  
Facultad de Ciencias de la Salud

Grado en Psicología

# El Factor Humano en la gestión de la seguridad operacional del transporte ferroviario

Trabajo fin de estudio presentado por:	Álvaro Sandoval López
Modalidad:	Ensayo teórico
Director/a:	María Rocío Gómez Juncal
Fecha:	29/06/2023

## Resumen

El sector ferroviario se encuentra afrontando un desarrollo tecnológico que está elevando la fiabilidad y seguridad de sus sistemas técnicos hasta umbrales sin precedentes, pero, por muy elevada que sea la fiabilidad de los sistemas técnicos, estos continúan siendo operados por seres humanos que cometen errores por naturaleza. El error humano, actualmente se encuentra en el origen del 80% de los accidentes e incidentes ferroviarios, lo que hace que los riesgos derivados de la conducta humana cobren una especial importancia en la gestión de la seguridad operacional. El presente trabajo, tiene el objetivo de realizar un análisis de las diferentes teorías que definen los aspectos cognitivos y sistémicos que originan un error humano, abordándose metodologías orientadas a la prevención de accidentes ferroviarios con factores humanos implicados. Las conclusiones obtenidas, muestran que existe una necesidad de integrar los Factores Humanos y Organizativos, en todo el ciclo de vida del sistema ferroviario.

**Palabras clave:** Factores Humanos y Organizativos, error humano, seguridad operacional, sector ferroviario, Psicología Cognitiva.

## Abstract

The railway sector is facing a technological development that is raising the reliability and safety of its technical systems to unprecedented levels, but no matter how high the reliability of technical systems may be, they continue to be operated by human beings who make mistakes by nature. Human error is currently at the origin of 80% of railway accidents and incidents, which makes the risks derived from human conduct of special importance in the management of operational safety. The present work, has the objective of carrying out an analysis of the different theories that define the cognitive and systemic aspects that originate a human error, addressing methodologies aimed at the prevention of railway accidents with human factors involved. The conclusions obtained, show that there is a need to integrate Human and Organizational Factors throughout the life cycle of the railway system.

**Keywords:** Human and Organizational Factors, human error, safety, railway sector, Cognitive Psychology.

## Índice de contenidos

1. Introducción .....	8
1.1. Justificación.....	9
1.2. Objetivos .....	11
1.3. Estrategia de búsqueda documental .....	12
2. Marco teórico.....	13
2.1. Modelos contemporáneos de la psicología cognitiva sobre el error humano.....	13
2.2. Niveles de funcionamiento y tipos de errores básicos.....	14
2.3. Sistema genérico de modelización del error (GEMS) .....	16
2.3.1. Modalidades de fallos en el nivel basado en habilidades .....	16
2.3.2. Modalidades de fallos en el nivel basado en reglas.....	17
2.3.3. Modalidades de fallos en el nivel basado en conocimientos.....	20
2.3.4. Resumen GEMS .....	23
2.4. Errores latentes y desastres de los sistemas .....	24
2.4.1. Las ironías de la automatización .....	25
2.4.2. Diseño centrado en el humano .....	27
2.4.3. Los actos inseguros en la teoría de Reason (2009) .....	29
2.4.4. Modelo SHELL.....	31
2.5. Barreras para prevenir los errores y sus consecuencias .....	33
2.5.1. Aprender de los errores.....	34
2.5.2. Clasificación de los sistemas de barrera.....	35
2.6. Gestión de la seguridad operacional .....	39
2.6.1. Evaluación de riesgos .....	40
2.6.2. Investigación de accidentes e incidentes .....	42
2.6.3. Reporte confidencial de riesgos en un marco de cultura justa.....	47

2.6.4. Safety I y Safety II .....	48
2.6.5. Mejora de la cultura de seguridad en una compañía ferroviaria.....	50
3. Conclusiones.....	56
3.1. Limitaciones .....	59
3.2. Prospectiva.....	59
Referencias bibliográficas.....	61

## Índice de figuras

Figura 1. Trayectoria de oportunidad de accidente .....	24
Figura 2. Variedades psicológicas de los actos inseguros .....	30
Figura 3. Modelo SHELL .....	32
Figura 4. Pirámide de Bird .....	34
Figura 5. Ejemplo Diagrama de Influencia de Factores Humanos.....	45

## Índice de tablas

Tabla 1. Artículos seleccionados en bases de datos de bibliografía científica.....	12
Tabla 2. Relación entre los niveles de funcionamiento y los errores básicos.....	15
Tabla 3. Resumen de las principales modalidades de fallos .....	23
Tabla 4. Resumen de la clasificación de sistemas de barrera .....	38
Tabla 5. Ejemplo Análisis Jerárquico de Tareas.....	42

## 1. Introducción

Los seres humanos cometen errores por naturaleza, y dichos errores se encuentran en el origen de la mayor parte de los accidentes e incidentes ferroviarios. Pese a que los sistemas ferroviarios están mejorando su confiabilidad desde un punto de vista técnico, estos continúan siendo operados por seres humanos, aspecto que pone en relieve la importancia de los riesgos derivados del comportamiento humano.

En el presente Trabajo de Fin de Estudio, se pretende realizar un ensayo teórico para analizar las distintas teorías explicativas que definen los aspectos cognitivos que originan un error humano en el ámbito ferroviario, así como los factores sistémicos que subyacen al mismo, abordándose, desde este punto de vista, metodologías que permitan la prevención y la investigación de accidentes ferroviarios, con factores humanos implicados.

El principal objetivo que se pretende alcanzar con el presente trabajo, es proporcionar a la persona lectora un análisis sobre la evolución de las teorías relacionadas con el error humano, desde los años 70 hasta la actualidad, recurriendo a los principales autores de referencia que han profundizado en este ámbito de la psicología cognitiva, proporcionando modelos que facilitan la comprensión y la clasificación del error humano, aportando perspectivas que permiten comprender la interacción del ser humano con los distintos elementos del sistema ferroviario, así como evaluando los distintos sistemas de barrera para prevenir el error humano.

Todo este contenido teórico, derivará en una aportación de las distintas metodologías que permiten, desde el punto de vista de los Factores Humanos y Organizativos, analizar riesgos, investigar accidentes e incidentes, y fomentar la cultura de la seguridad en el sistema ferroviario.

Para alcanzar este objetivo, se ha realizado una metódica búsqueda de bibliografía relacionada con esta disciplina de la psicología, la cual se expone más adelante.

Con esta información recabada, la experiencia profesional adquirida por mi parte durante 6 años en el ámbito de la seguridad operacional y durante 17 años en total en el sector ferroviario, los conocimientos adquiridos durante el presente Grado en Psicología, y las competencias adquiridas durante el periodo de prácticas realizado con la empresa ESM Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos, pretendo intentar hacer una

pequeña aportación a esta disciplina de la Psicología mediante el presente trabajo, con todos los conocimientos que he podido adquirir a lo largo de estos años de experiencia profesional, y gracias al estudio de los autores de referencia durante la elaboración del mismo.

Es muy importante para mí, y para esta disciplina de la Psicología, realizar este ejercicio de reflexión, relacionado con el análisis de las distintas teorías que nos han traído hasta el momento en el que nos encontramos, en el ámbito de la seguridad operacional, así como de las metodologías que pueden ser susceptibles de aplicación en un entorno ferroviario, ya que, éste es un sector en el cual, a diferencia de otros sectores como el de aviación comercial o energía nuclear, la consideración de la relevancia de los Factores Humanos y Organizativos dentro del sistema, es una innovación que debe abordarse con cierta urgencia.

A lo largo de los últimos años se han producido varios accidentes ferroviarios en Europa de distinta gravedad, de los cuales se debe destacar el accidente de un tren de alta velocidad que cubría la ruta Madrid – Ferrol, en julio del año 2013, que desgraciadamente ocasionó el fallecimiento de 80 personas y numerosos heridos de distinta gravedad.

Dicho accidente, se produjo al descarrilar el tren como consecuencia de circular a 179 Km/h en una curva limitada a 80 Km/h, y fue atribuido a un error humano del personal de conducción, derivado de una falta de atención al responder a una llamada telefónica de servicio del propio tren (Comisión de Investigación de Accidentes Ferroviarios, 2013).

Este tipo de accidentes, pone de manifiesto la necesidad de gestionar la seguridad operacional en el sistema ferroviario, teniendo en cuenta al ser humano como un elemento más de su sistema, el cual comete errores por naturaleza, a los cuales la organización debe anticiparse y adoptar las medidas técnicas u organizativas necesarias, para prevenir que estos ocurran.

### 1.1. Justificación

Actualmente, el sector ferroviario está afrontando un desarrollo tecnológico que está elevando la fiabilidad y seguridad de sus sistemas técnicos hasta umbrales sin precedentes.

Este desarrollo tecnológico del sector ferroviario, ha ido acompañado de una evolución significativa en el ámbito de la seguridad operacional, ya que las compañías ferroviarias se han encontrado con la necesidad de gestionar y analizar los riesgos existentes en su sistema, así como de investigar y prevenir los accidentes ferroviarios que se producen en el mismo (Gil et al., 2009).

No obstante, por muy elevada que sea la fiabilidad de los sistemas técnicos, estos continúan siendo operados por seres humanos, los cuales en ocasiones deben abordar tareas críticas para la seguridad y son falibles por naturaleza.

En el ámbito de la seguridad operacional, suele hablarse de la regla del 80/80 de la accidentalidad, ya que aproximadamente el 80% de los accidentes son originados como consecuencia de un error humano, de los cuales, un 80% se han visto influidos por fallos en la organización, del trabajo o del diseño de puestos (Gil et al., 2009).

En la actualidad, en Europa, la tendencia a la hora de evaluar lo relacionado con el Factor Humano en el ámbito ferroviario, ha pasado de centrarse únicamente en la persona que se encuentra operando el sistema en primera línea, a considerar su interacción con aspectos como la infraestructura ferroviaria, los interfaces de los trenes, los aspectos culturales, la interacción con otras personas, los factores contextuales, etc., considerándose que alguna de dichas interacciones puede ser un factor subyacente a un error humano (Gil et al., 2009).

Según James Reason (2009), los errores no son causas, sino consecuencias, ya que no ocurren como fallos aislados en la mente de las personas, originándose en interacción con las características de la tarea, las herramientas y equipos, así como el lugar de trabajo, los cuales son aspectos que le dan forma.

Tal es la relevancia que está adquiriendo el Factor Humano en este ámbito, que en el año 2018, en la primera Cumbre Europea de Seguridad Ferroviaria celebrada en la ciudad de Dubrovnik, se redactó una declaración en la cual los líderes ferroviarios europeos se comprometían a crear conciencia y a promover una cultura de seguridad positiva en todo el sector (European Union Agency for Railways, 2018), siendo especialmente significativos los siguientes compromisos en lo relativo a los Factores Humanos y Organizativos:

- Las organizaciones promoverán los principios de seguridad, notificación de incidentes y cultura justa entre gerencia y empleados, fomentando el respeto mutuo, el apoyo y la cooperación para generar confianza en las organizaciones y crear una comprensión compartida del lugar de trabajo.
- Las organizaciones son responsables de fomentar un comportamiento de seguridad positivo y proporcionar un entorno adecuado para permitir que el trabajo se realice de

forma segura, incluyendo el diseño de tareas, las herramientas, la capacitación y los procedimientos.

- No obstante, las personas, pese a su formación, experiencia, habilidades y buena voluntad, pueden enfrentarse a situaciones en las cuales el desempeño humano, combinado con influencias sistémicas impredecibles, pueden conducir a un resultado indeseable.
- La investigación y el análisis de estos sucesos, debe centrarse, en primer lugar, en las condiciones y factores que influyen en la práctica laboral, en lugar de repartir culpas o responsabilidades individuales.

Teniendo en cuenta la orientación actual del sector ferroviario, es de una elevada importancia que las organizaciones comiencen a considerar el Factor Humano como un elemento más de su sistema, teniendo en cuenta los riesgos derivados de la actuación humana en los análisis de riesgos, aprendiendo de los errores humanos que originan accidentes e incidentes, así como promoviendo una cultura de seguridad entre todas las personas que forman parte de su organización.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal que se pretende alcanzar con este trabajo, es analizar la relevancia que tiene considerar el Factor Humano, en la gestión de riesgos de la seguridad operacional, en el ámbito ferroviario.

Como objetivos específicos, se establecen los siguientes:

- Comprender los principales fundamentos teóricos en lo relativo a los factores cognitivos y sistémicos que subyacen al error humano.
- Sintetizar las principales teorías relacionadas con la implementación de barreras, destinadas a prevenir el error humano que puede derivar en accidentes o incidentes.
- Abordar la aplicación práctica de las distintas metodologías de análisis de riesgos, sistemas de reporte confidencial de riesgos, investigación de accidentes e incidentes, etc., que permiten analizar y mitigar los riesgos derivados del Factor Humano.
- Analizar métodos orientados a la mejora de la cultura de seguridad en una compañía ferroviaria, mediante la resolución de un supuesto práctico.

### 1.3. Estrategia de búsqueda documental

Con el objetivo de llevar a cabo la búsqueda de la bibliografía necesaria para la elaboración del presente trabajo, en primer lugar se ha realizado una búsqueda de artículos científicos de investigación, relacionados con los Factores Humanos y Organizativos en la gestión de la seguridad operacional en el ámbito ferroviario, publicados durante los últimos 10 años, tal y como se indica a continuación en la Tabla 1.

**Tabla 1.** *Artículos seleccionados en bases de datos de bibliografía científica*

Combinación de términos buscados	Scopus	Web of Science	ProQuest	Filtro de búsqueda	Criterios de inclusión
Human error AND Railway	12	10	6	Últimos 10 años en inglés	Artículos de investigación relacionados con los Factores Humanos y Organizativos en la gestión de la seguridad operacional en el ámbito ferroviario
				Áreas temáticas: Ciencias Sociales, Psicología y Ergonomía	
				Fecha de búsqueda: 04/06/2023	
<b>Total referencias</b>				<b>28</b>	

Sin embargo, el marco teórico está fundamentado principalmente en la obra de dos autores de referencia, James Reason y Erik Hollnagel, debido a que estos son los autores de las teorías más relevantes relacionadas con el error humano y sus barreras, las cuales sirven para cimentar la parte más metodológica del presente trabajo.

El análisis sobre la metodología existente en relación a la gestión de la seguridad operacional con Factores Humanos y Organizativos implicados, se ha basado principalmente en el manual Los Factores Humanos y Organizativos en la Investigación y Prevención de Accidentes Ferroviarios, de los autores Baltasar Gil de Egea, Pilar Calvo Holgado y Carmen García Suárez, de la empresa ESM Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos.

Para analizar la metodología existente relacionada con la implementación de un sistema de reporte confidencial de riesgos en un marco de cultura justa, se ha recurrido a la guía correspondiente de la Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, sobre la cultura de seguridad en los Sistemas de Gestión de la Seguridad.

Finalmente, se hace referencia a los reglamentos y directivas de la Comisión Europea vigentes, que tienen relación con la gestión de la seguridad operacional en el ámbito ferroviario.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Modelos contemporáneos de la psicología cognitiva sobre el error humano

Hay varios aspectos comunes, en lo relativo a la cognición humana, entre los distintos modelos que pueden ser utilizados para establecer un marco de trabajo para el error humano.

Existen dos modos de control en cuanto a lo que se refiere al procesamiento cognitivo (Reason, 2009):

- Modo de control atencional: implica el procesamiento consciente o controlado por el sujeto.
- Modo de control esquemático: implica el procesamiento inconsciente o automático.

Para realizar actividades que conllevan un procesamiento cognitivo, se produce una compleja interacción entre estos dos modos de control.

El modo de control atencional, se encuentra directamente vinculado a la conciencia y la memoria de trabajo, siendo limitado y difícil de mantener más allá de breves intervalos de tiempo. Este modo, permite planificar objetivos en el futuro, definir los medios para lograr dichos objetivos, así como controlar su progreso, detectando y, en su caso, recuperando los posibles errores (Reason, 2009).

Sin embargo, la cognición humana es muy eficaz a la hora de aprender de las conductas útiles que se han producido de forma recurrente en el pasado, así como de recordarlas y aplicarlas nuevamente, siempre que se den las condiciones de activación necesarias en el entorno o en la actividad que se esté realizando. Esto se denomina modo de control esquemático, y permite procesar de forma rápida la información que es familiar para el sujeto, sin necesidad de que exista un esfuerzo consciente por parte del mismo (Reason, 2009).

Para que cada uno de estos esquemas pueda ser activado, requiere de la interacción del sujeto con determinadas señales ambientales, relacionadas con determinados aspectos del conocimiento aprendido (Norman & Brobow, 1979).

Dentro de los tipos de fuentes de activación, se encuentran los activadores específicos, los cuales surgen de la actividad intencional y activan un esquema en un momento determinado. Cuanto mayor sea la frecuencia con la que se desempeña una actividad, menos cantidad de información necesitan para dicho desempeño los niveles superiores de la consciencia, requiriéndose la intervención positiva del modo de control atencional cuando se cambia una rutina determinada, siendo esta la principal causa de los deslices por omisión (Reason, 1979).

Por otra parte, se encuentran los activadores generales, los cuales surgen del contexto y proporcionan un entorno previo a los esquemas que favorecen su activación, independientemente del estado intencional. Generalmente, se necesita únicamente una señal contextual para provocar la activación, y cuanto mayor es la frecuencia con la que se activa un esquema determinado, menor es la activación intencional que requiere la misma (Reason, 2009).

## 2.2. Niveles de funcionamiento y tipos de errores básicos

Según Rasmussen y Jensen (1974), la actuación humana se puede clasificar en tres niveles de funcionamiento, los cuales se corresponden con distintos niveles de familiaridad con el entorno o la tarea:

- Nivel basado en habilidades: en este nivel, el rendimiento humano es controlado por instrucciones preprogramadas, para la realización de rutinas de trabajo que requieren poca atención.
- Nivel basado en reglas: las soluciones a los problemas comunes, se basan en reglas depositadas en nuestros procesos mentales.

- Nivel basado en conocimientos: las soluciones a situaciones nuevas o problemas no comunes, requieren un proceso analítico consciente y conocimiento previo.

A medida que va aumentando la pericia en la realización de la tarea, el foco primario se mueve del nivel basado en conocimientos al nivel basado en habilidades, ya que los más expertos tienen un número mayor de mecanismos esquemáticos y de resolución de problemas mediante reglas.

Por otra parte, los errores que se producen en el nivel basado en habilidades tienden a ser menos conscientes o automáticos, y los que se originan en el nivel basado en el conocimiento se producen de una forma más consciente.

Este aspecto, es fundamental a la hora de realizar una clasificación de los distintos tipos de error humano, ya que, este modelo permite identificar tres tipos de errores claramente diferenciados, cada uno relacionado con uno de los niveles de funcionamiento de Rasmussen (Reason, 2009).

A continuación, en la Tabla 2, se aporta un resumen de la relación existente entre los niveles de funcionamiento y los tipos de error humano, sobre los cuales se profundizará más adelante.

**Tabla 2.** *Relación entre los niveles de funcionamiento y los errores básicos*

<b><i>Nivel de funcionamiento</i></b>	<b><i>Tipo de error</i></b>
Nivel basado en habilidades	Deslices y lapsus
Nivel basado en reglas	Equivocaciones basadas en reglas
Nivel basado en conocimientos	Equivocaciones basadas en conocimientos

Fuente: Reason, 2009.

Según James Reason (2009), esta clasificación nos permite disponer de un marco conceptual, dentro del cual localizar el origen de cada uno de los tipos de errores básicos.

Esta metodología, es denominada como sistema genérico de modelización del error o GEMS según sus siglas en inglés, por el citado autor de referencia.

## 2.3. Sistema genérico de modelización del error (GEMS)

El modelo GEMS, ofrece una clasificación de modalidades de fallos según el nivel de funcionamiento en el cual se originan, que permite analizar cuáles son los factores cognitivos que influyen en cada uno de los tipos de error humano.

A continuación, se expone dicha clasificación según el modelo James Reason (2009), aportando además en cada una de las modalidades, ejemplos orientados al ámbito ferroviario.

### 2.3.1. Modalidades de fallos en el nivel basado en habilidades

La mayor parte de las modalidades de fallos observadas en el nivel basado en habilidades, suelen producirse como consecuencia de la omisión de la atención en momentos críticos, o por un exceso de atención dirigida a acciones rutinarias en un momento inadecuado.

#### **Fallos por falta de atención.**

Deslices de doble captación: se produce la omisión de una comprobación, debido a que la mayor parte de los recursos atencionales se encuentra dirigida hacia una preocupación interna o hacia un distractor externo, en un momento en el cual dichos recursos deberían estar enfocados en la realización de una actividad rutinaria.

*Ejemplo: un maquinista rebasa una señal en rojo debido a que omitió la comprobación visual de la misma, al encontrarse planificando mentalmente en ese momento la maniobra que debía realizar a continuación.*

Omisiones asociadas con interrupciones: en estos casos, la omisión de la comprobación se produce como consecuencia de una interrupción facilitada por un hecho externo.

*Ejemplo: un maquinista rebasa una señal en rojo debido a que omitió la comprobación visual de la misma, al atender una llamada del puesto de mando en ese momento.*

Intencionalidad reducida: se origina cuando hay un retraso entre la formulación de una intención de hacer algo y el momento en el cual debe realizarse dicha actividad, generalmente produce una sensación de deber estar haciendo algo pero no recordar qué.

*Ejemplo: entre las múltiples tareas que debe realizar simultáneamente, un operador del Puesto de Mando se dispone a planificar una maniobra de encierre de un tren en una cochera, pero*

*cuando se dispone a llevar a cabo dicha actuación, no recuerda momentáneamente que era lo que debía hacer.*

Confusiones en la percepción: se producen cuando los esquemas de reconocimiento aceptan como válido, algo que se parece al objeto al que se pretende dirigir la atención.

*Ejemplo: el accionamiento no previsto y accidental de un pulsador del cuadro de instrumentos de un tren, debido a que el mismo tiene un gran parecido y proximidad con respecto al que se pretendía actuar inicialmente.*

Errores provocados por interferencias: la realización de varias acciones de forma simultánea, puede provocar que ambas se enreden y se confundan en una lucha por obtener en control atencional.

*Ejemplo: un operador del puesto de mando se dispone a efectuar una llamada mediante radiotelefonía aplicando el protocolo de comunicaciones correspondiente, es ese momento su supervisor se acerca a él y le transmite una orden, al que contesta "recibido, cambio".*

### **Fallos por exceso de atención**

Por otra parte, en este nivel de funcionamiento también pueden producirse errores que se producen como consecuencia de un exceso de atención, que puede conllevar la realización de comprobaciones a destiempo.

Este tipo de errores, suele producirse durante la realización de una secuencia de acciones automáticas que requieren un tiempo de espera entre cada una de ellas. La comprobación a destiempo durante uno de estos periodos de espera, puede aportar una información errónea sobre el nivel de progreso en el que se encuentra la realización de la tarea.

*Ejemplo: la actuación de un maquinista que recibe la orden de permanecer detenido durante 5 minutos en una estación por cuestiones de regulación del tráfico ferroviario, en un momento determinado considera que el tiempo ya ha transcurrido e inicia la marcha, habiendo realizado dicha comprobación antes de tiempo y no habiendo transcurrido todavía el tiempo de detención previsto.*

### **2.3.2. Modalidades de fallos en el nivel basado en reglas**

En este nivel de funcionamiento, cuando se pretende construir un modelo mental en una situación concreta con el objetivo de representar el entorno, el sistema cognitivo recurre a

una combinación de las reglas disponibles, que ofrecen asociaciones y predicciones relacionadas con la situación a afrontar (Holland et al., 1986).

En cualquier situación, diversas reglas pueden competir por aportar una representación mental del estado del mundo en ese momento.

Dentro de los errores que pueden originarse dentro de este nivel de funcionamiento, pueden darse de dos tipos, aplicación errónea de reglas buenas o aplicación de reglas malas.

### **Aplicación errónea de reglas buenas**

Primeras excepciones: este tipo de error se produce durante la aplicación de una regla que ha demostrado su fiabilidad anteriormente en repetidas ocasiones, pero erróneamente de forma excepcional, al haber variado el contexto en el que se aplica por primera vez.

*Ejemplo: el estacionamiento rutinario de un tren por parte de un maquinista, tomando como referencia una distancia determinada con respecto al tren situado delante, pero un día de forma excepcional, el tren que toma como referencia se encuentra situado en una posición más adelantada de lo habitual, no percibiendo este hecho y aplicando la regla habitual, pero rebasando una señal en rojo que se encuentra en su recorrido.*

Señales, contraseñales y no-señales: ante la realización de tareas complejas orientadas a la solución de problemas, pueden concurrir tres tipos de información. Las señales como datos que cumplen los condicionantes de la aplicación de una regla adecuada, las contraseñales como datos que informan que la regla no es aplicable, y no-señales que no son más que ruido dentro del sistema de reconocimiento y no tienen ninguna relación con la regla a aplicar. Ante este tipo de situaciones, puede darse la circunstancia de que una contraseñal sea razonablemente rechazada dentro de dicho despliegue de información.

*Ejemplo: un operador del Puesto de Mando observa la activación de una alarma en CTC por desaparición de un tren (contraseñal), pero comprueba visualmente que la representación en el interfaz es correcta (señal), y simultáneamente está recibiendo un llamada telefónica relacionada con otro asunto (no-señal), tomando la determinación errónea de considerar dicha alarma como falsa.*

Sobrecarga de información: la dificultad de detectar contraseñales, aumenta según la cantidad de información que tiene que procesar una persona, superando en ocasiones la capacidad de su sistema cognitivo y recibiendo solo una parte de las mismas un adecuado procesamiento.

*Ejemplo: la generación de múltiples alarmas en CTC por diversos motivos durante la gestión de una incidencia por un operador del Puesto de Mando, resultando atendidas las más críticas, pero ignoradas una parte de ellas.*

Fortaleza de la regla: una regla, tiene más posibilidades de ser empleada para la predicción de una situación problemática, según el número de veces que haya tenido éxito anteriormente su aplicación. No obstante, el sistema cognitivo tiende a optar por las reglas más fuertes, siempre que las condiciones en las que se apliquen en cuanto a coincidencia no sean perfectas (Anderson, 1983).

*Ejemplo: un maquinista realiza diariamente una maniobra de encierre en una cochera, y tiene una regla interna o creencia, fundamentada en múltiples experiencias anteriores, de que si existe alguna señal en rojo en su recorrido el Puesto de Mando se lo va a indicar previamente, lo que le lleva a interpretar que si no recibe comunicación alguna, todas las señales en su recorrido se encontrarán en verde, originándose el rebase de una señal en rojo ante la omisión de comunicaciones previas a la maniobra.*

Rigidez: el ser humano, tiene una fuerte tendencia a aplicar una solución familiar a un problema, aunque esta no sea la solución más eficiente o las circunstancias no justifiquen su empleo.

*Ejemplo: un tren presenta una avería en una de sus unidades electrónicas de freno y el agente que interviene en la incidencia opta por realizar la condena total del freno en el coche afectado, ya que, según experiencias anteriores, esta actuación ha funcionado, pese a que dicha actuación no está justificada por las señales del interfaz Hombre-Máquina del tren, que indica solo proceder a la condena de una de las unidades de freno.*

### **Aplicación de reglas malas**

Deficiencias de codificación de las reglas: durante la realización de habilidades complejas que requieren una gran demanda cognitiva, algún componente de la actividad total puede eliminar las reglas asociadas a determinados aspectos relevantes.

*Ejemplo: durante una conducción degradada de un tren, el maquinista debe realizar la conducción prestando especial atención a las señales de su entorno y al cuadro de instrumentos en cabina, pudiendo repercutir esto en la ralentización de la velocidad, como actuación para soltar un lastre cognitivo que permita mantener el control del tren.*

Deficiencias en la acción existentes en las reglas: generalmente, este tipo de error surge cuando se deben cumplir objetivos discrepantes en una organización en los cuales la seguridad puede tener poco peso, y que pueden conllevar la violación de los códigos o procedimientos operativos establecidos.

*Ejemplo: según los objetivos establecidos por un operador ferroviario, existe un tiempo máximo en el que cual debe completarse la circulación en una línea, siendo en ocasiones necesario exceder el límite de velocidad en algunos tramos para cumplir dicho objetivo.*

### 2.3.3. Modalidades de fallos en el nivel basado en conocimientos

En el nivel de funcionamiento basado en conocimientos, la persona que se enfrenta a un problema debe recurrir a un razonamiento potente, pero lento, serial y laborioso (Reason, 2009).

Los fallos que se producen en este nivel, tienen su origen en dos aspectos fundamentales:

- La racionalidad limitada del ser humano.
- Un modelo incompleto o poco exacto del espacio del problema.

*Ejemplo: un supervisor del Puesto de Mando afronta la coordinación de las actuaciones que se deben realizar ante el descarrilamiento de un tren, en una zona de difícil evacuación y contando inicialmente solo con informaciones parciales, debiendo tomar las decisiones oportunas utilizando criterios de seguridad y eficacia.*

Se exponen, a continuación, los problemas más evidentes que se producen durante el procesamiento basado en conocimientos.

#### **La selectividad**

Una gran parte de los errores de razonamiento, se producen como consecuencia del procesamiento selectivo de la información disponible relacionada con la tarea a realizar, originándose equivocaciones cuando se presta atención a los aspectos erróneos de dicha información y no se presta atención a la información adecuada.

#### **Las limitaciones del espacio de trabajo**

Cuando se razona en el nivel basado en conocimientos, se integran en modelos mentales los rasgos de las configuraciones de los posibles problemas, siendo necesario realizar una

búsqueda de las distintas configuraciones que puede tomar un problema para validar una inferencia, actividad que supone una gran carga para los recursos limitados de la actividad consciente.

### **Ojos que no ven, corazón que no siente**

El empleo de heurísticos en la resolución de problemas, otorga una gran importancia a los acontecimientos que ocurren de forma inmediata, pero ignora lo que no está presente de forma inmediata, pudiendo omitir en la toma de decisiones componentes importantes del problema.

### **El sesgo de confirmación**

Ante un problema que puede conllevar una interpretación ambigua y que permite la formulación de varias hipótesis para resolver el mismo, la interpretación que se suele favorecer es la ya existente, siendo difícil desprenderse de ella, pese a la existencia de pruebas contradictorias.

### **El exceso de confianza**

Las personas responsables de resolver problemas, tienen una tendencia a justificar las acciones elegidas centrándose en las pruebas que favorecen su decisión, ignorando las señales que las contradicen y ejerciendo una gran resistencia para modificar el plan previsto.

### **El sesgo en la revisión**

Toda persona que se encargue de la planificación para resolver un problema, tiende a comprobar antes de su ejecución las acciones planeadas, pero esta actuación también puede estar distorsionada, ya que se tiende a revisar uno o dos de estos factores en un momento determinado, no realizándose un análisis de toda información relevante y originándose una ilusión de la comprobación.

### **La correlación ilusoria**

A la hora de enfrentarse a un problema, el ser humano no está especialmente cualificado para detectar muchos tipos de covariación a la hora de interpretarlo, teniendo únicamente en cuenta este aspecto cuando las propias teorías tienden a predecir dicha covariación (Chapman y Chapman, 1967).

### **Los efectos de halo**

Cuando las personas abordan un problema, tienden a mostrar predilección por las clasificaciones únicas y aversión por las discrepantes, reduciendo las clasificaciones discrepantes a únicas en función de valoraciones cualitativas (De Soto, 1961).

### **Los problemas con la causalidad**

El ser humano, ante la resolución de problemas, tiende a simplificar excesivamente las relaciones de causalidad, ya que basa su planteamiento en las repeticiones que se han producido en el pasado, subestimando las posibles irregularidades que puedan surgir en el futuro, viéndose su análisis influenciado por los heurísticos de representatividad y de disponibilidad (Tversky y Kahneman, 1974).

### 2.3.4. Resumen GEMS

En la Tabla 3, se muestra un resumen de las principales modalidades de fallos anteriormente expuestas, en cada uno de los tres niveles de funcionamiento.

**Tabla 3.** *Resumen de las principales modalidades de fallos*

<b>RENDIMIENTO BASADO EN HABILIDADES</b>	
<i>Falta de atención</i>	<i>Exceso de atención</i>
<b>RENDIMIENTO BASADO EN REGLAS</b>	
<i>Aplicación errónea de reglas buenas</i>	<i>Aplicación de reglas malas</i>
<b>RENDIMIENTO BASADO EN CONOCIMIENTOS</b>	
<i>Selectividad</i>	
<i>Limitaciones del espacio de trabajo</i>	
<i>Ojos que no ven, corazón que no siente</i>	
<i>Sesgo de confirmación</i>	
<i>Exceso de confianza</i>	
<i>Sesgo en la revisión</i>	
<i>Correlación ilusoria</i>	
<i>Efectos de halo</i>	
<i>Problemas con la causalidad</i>	

Fuente: Reason, 2009.

Este marco conceptual, permite localizar el origen cognitivo de cada uno de los tipos de errores básicos, integrando dos áreas de investigación claramente diferenciadas. Por una parte integra los deslices y lapsus, en los cuales la acción se desvía de la intención inicial por

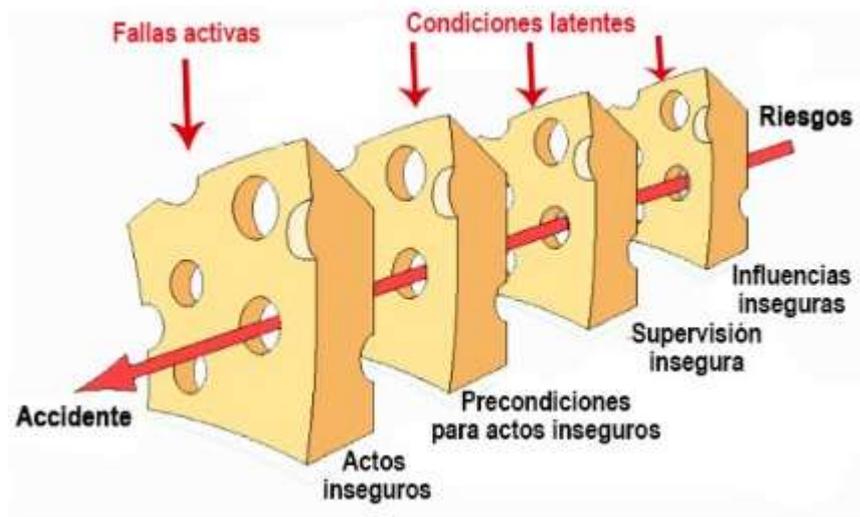
un fallo de ejecución o de memoria, y, por otra parte, integra las equivocaciones, en las cuales la acción se realiza según lo planificado, pero el plan no es el adecuado para alcanzar el resultado previsto.

#### 2.4. Errores latentes y desastres de los sistemas

A la hora de analizar la aportación humana a los desastres de los sistemas, es relevante diferenciar entre dos tipos de errores (Rasmussen y Pedersen, 1984):

- Errores activos: sus efectos son identificados de forma inmediata, y generalmente se asocian con el trabajo de los operadores de primera línea de un sistema complejo, como maquinistas, operadores del Puesto de Mando, supervisores, etc.
- Errores latentes: sus consecuencias adversas pueden permanecer ocultas en el sistema durante mucho tiempo, haciéndose visibles solo cuando se combinan con otros factores que rompen las defensas del sistema, y encontrándose generalmente implicados en los mismos, agentes cuyas actividades están alejadas espacial y temporalmente del trabajo de primera línea, como directivos, diseñadores, personal de mantenimiento, etc.

**Figura 1.** Trayectoria de oportunidad de accidente



Fuente: Reason, 2009.

En este sentido, es importante destacar la evolución tecnológica que se ha producido a lo largo de los últimos años, en el control y el diseño de los sistemas de alto riesgo, afectando de forma significativa al rendimiento humano. Los sistemas son cada vez más automáticos, lo cual ha

implicado un progresivo alejamiento de los operadores de primera línea con respecto a los procesos que controlan nominalmente (Reason, 2009).

Cuando los niveles de automatización no eran tan elevados, los operadores podían ver y tocar lo que controlaban o producían de forma directa. Sin embargo, actualmente, en procesos que son demasiado sensibles para permitir su manipulación directa, o cuando hay una necesidad de ampliar la fuerza o los sentidos del operador, se utilizan mecanismos que permiten la manipulación remota del sistema (Reason, 2009).

En el ámbito ferroviario, los principales beneficios de este aumento de los niveles de automatización, pueden resumirse en una optimización del tiempo de circulación de los trenes, un aumento de la velocidad media y acortamiento de intervalos, así como una reducción en el factor de riesgo humano, aumentando la seguridad y la confiabilidad del sistema (Fraszczyk et al., 2015).

Pero una de las consecuencias de estos avances tecnológicos, es que los sistemas complejos cada vez son más opacos para los operadores que los deben utilizar, ya que tienen una falta de conocimiento de lo que realmente está pasando y una falta de comprensión de lo que pueden hacer estos sistemas (Reason, 2009).

Por otra parte, uno de los aspectos en los que deriva este aumento progresivo de los niveles de la automatización, ha sido el crecimiento en tamaño y complejidad de los sistemas de alto riesgo, los cuales son controlados de forma centralizada por un número reducido de operadores (Reason, 2009).

Este hecho, sumado a que la sociedad cada vez tiene una menor aceptación de los desastres catastróficos, implica que los diseñadores de sistemas complejos, incluyen en los mismos dispositivos automáticos de seguridad que protejan al sistema contra todos los fallos posibles, lo que puede llevar a considerar que, para que ocurra una catástrofe, deben producirse una concatenación de eventos, improbables en apariencia, durante la secuencia del accidente (Rasmussen y Pedersen, 1984).

#### 2.4.1. Las ironías de la automatización

Según Lisanne Bainbridge (1987), durante la fase de diseño de muchos sistemas se desconfía de la eficiencia y de la fiabilidad de los operadores humanos, de modo que se intenta suplantar a los mismos por dispositivos automatizados.

Esto, origina lo que la citada autora de referencia denomina como las ironías de la automatización:

- Los errores de los diseñadores contribuyen de forma significativa a los incidentes y accidentes.
- El mismo diseñador que intenta eliminar a los seres humanos de su sistema, pretende que sea el operador el que realice las tareas que no pueden ser automatizadas.

En un sistema automatizado, generalmente son los operadores lo que tienen la tarea de supervisar que este está funcionando de una forma adecuada. Pero esta labor de supervisión, es muy difícil de realizar de una forma eficaz más allá de cortos periodos de tiempo, lo que lleva a entender que un operador no está capacitado para llevar a cabo esta labor residual que consiste en vigilar la aparición de situaciones anormales. Con el objetivo de ayudar al operador en esta tarea, los diseñadores implementan en sus sistemas alarmas automáticas, originándose un nuevo riesgo ante el fallo o desconexión de las mismas.

Por otra parte, otra tarea que se asigna a las personas que operan un sistema automático, es la de asumir el control manual cuando falla el sistema automático. Este control manual, requiere de habilidades cognitivas de alto nivel, las cuales deben ser practicadas con regularidad para mantenerse, pero un sistema que normalmente opera de forma automática, generalmente no permite a sus operadores la oportunidad de poner en práctica dichas habilidades de control. Por tanto, una de las consecuencias de la automatización de los sistemas, es que los operadores cada vez tienen menos habilidades para realizar las tareas que justifican su existencia marginal.

Teniendo en cuenta el alto grado de dificultad que adquiere la tarea a realizar por los operadores, cuando se produce alguna situación que requiere su intervención manual, las organizaciones han optado por procedimentar dichas actuaciones que son críticas para la seguridad, aspecto del cual surge una necesidad de formar en este sentido a los operadores. Esto lleva a otra ironía, que es la necesidad de formar a los operadores para que sigan instrucciones escritas, para posteriormente introducirlos en un sistema que requiere de inteligencia basada en conocimientos e improvisación a la hora de resolver determinadas situaciones imprevistas.

Según lo expuesto anteriormente, es posible que los sistemas que tienen un mayor éxito en su automatización, los que rara vez requieren de su intervención manual, sean los que pueden exigir una mayor inversión en la formación de sus operadores.

#### 2.4.2. Diseño centrado en el humano

La opacidad existente en los sistemas automáticos, es un aspecto que se podría mejorar fomentando un diseño del sistema centrado en el humano, el cual debería permitir al mismo imaginar lo que debe hacer en cada momento y que pueda saber lo que está pasando en el sistema, cumpliendo con los siguientes parámetros en su funcionamiento (Norman, 1990):

- Facilitando la determinación de qué actuaciones se pueden llevar a cabo en cada momento.
- Permitiendo que las cosas sean visibles, las distintas actuaciones posibles y el resultado que van a originar las mismas.
- Permitiendo evaluar de forma sencilla el estado actual del sistema.
- Facilitando información de forma natural entre las intenciones y las actuaciones necesarias para llevarlas a cabo, entre las actuaciones y el efecto que van a provocar en el sistema, y entre la información que se puede observar y la interpretación del estado del sistema.

Para llevar a cabo un diseño centrado en el humano, el diseñador debe planificar la tarea a realizar en el sistema siguiendo los siguientes principios (Norman, 1990):

- Utilizar el conocimiento en el mundo y el conocimiento en la cabeza: el diseño no puede ser un obstáculo para realizar la acción si el usuario ha internalizado el conocimiento para su utilización, debe ser sencillo pasar de una tarea a otra combinando el conocimiento en la cabeza con el conocimiento del entorno, y, de estos dos conocimientos, el que esté más disponible en cada momento debe poder ser utilizado sin interferencias del otro.
- Simplificar la estructura de las tareas: la estructura de las tareas debe ser sencilla, reduciendo al mínimo la carga cognitiva que puede suponer planificación o la solución de problemas que dichas tareas exigen, siendo necesaria su reestructuración mediante el empleo de innovaciones tecnológicas, cuando estas sean innecesariamente complejas.

- Hacer que las cosas sean visibles, colmando las lagunas de la ejecución y de la evaluación: el sistema de ser visible en el sentido de que debe permitir evaluar las actuaciones antes de realizarlas, así como de conocer el resultado de las mismas, generando indicaciones sobre el estado del sistema que puedan percibirse e interpretarse con facilidad y que se correspondan con las instrucciones y expectativas del operador.
- Realizar correctamente las topografías: se deben explotar las topografías naturales, asegurando que el usuario pueda determinar la relación existente entre las intenciones y los actos posibles, entre los actos y sus efectos en el sistema, entre el estado del sistema y lo que se puede percibir mediante la vista, el oído o el tacto, y entre lo que se puede percibir del sistema y las intenciones o expectativas del usuario.
- Explotar la fuerza de las limitaciones, tanto naturales como artificiales: se deben utilizar limitaciones en el diseño, con el objetivo de que el usuario solo pueda elegir el camino correcto en la realización de la tarea.
- Diseñar dejando margen para los errores: durante el diseño del sistema, se debe suponer que se cometerán todos los errores posibles, debiendo dejar una posibilidad al usuario de recuperarse de los mismos y de corregirlos, de tener conocimiento de lo que ha hecho y de invertir el resultado no deseado.
- Cuando todo lo demás falla, elaborar normas: cuando no se pueda diseñar un sistema aplicando los puntos anteriores, queda un último recurso, elaborar normas que los operadores puedan aprender y que les permitan utilizarlo con eficacia.

Estos aspectos, ponen en relieve el hecho de que el diseño de un sistema afecta a la sociedad, ya que este es una manipulación consciente de la misma.

Dicha manipulación de la sociedad, hace que el diseño pueda adquirir un sentido político, como por ejemplo podría ser, el hecho de que en la cultura occidental tiene más relevancia el atractivo de un sistema que su capacidad de uso, aspecto que pasa a un segundo plano.

Todo esto, deriva en que las tareas cotidianas no sean difíciles por su complejidad, sino porque exigen aprender unas relaciones y unas topografías arbitrarias que en ocasiones exigen una ejecución muy precisa.

Estas dificultades, pueden evitarse realizando un diseño que permita conocer cuáles son las operaciones necesarias, explotando las posibles limitaciones del humano y orientándole a realizar la acción correcta, ya que los errores son una parte inevitable de su vida cotidiana y un buen diseño puede reducir el número y la gravedad de los errores, así como permitirle ser consciente de los mismos después de haberlos cometido, para poder recuperarse a tiempo de ellos.

### 2.4.3. Los actos inseguros en la teoría de Reason (2009)

Como se ha explicado en puntos anteriores, dentro de los errores básicos que pueden producirse, existen tres tipos que se encuentran claramente diferenciados:

- Desliz: es la desviación involuntaria de la acción planificada, con respecto a la intención, como consecuencia de un fallo en los procesos atencionales.
- Lapsus: es la desviación involuntaria de la acción planificada, con respecto a la intención, como consecuencia de un fallo en la memoria.
- Equivocaciones: es la desviación deliberada de la acción planificada orientada hacia una trayectoria deseada, pueden estar basadas en reglas o en conocimientos.

Sin embargo, esta clasificación de errores solo proporciona una visión parcial de las posibles conductas que puede derivar en un acto inseguro, ya que los seres humanos no planifican y ejecutan sus acciones en un entorno aislado, sino dentro en un entorno social regulado. Los errores básicos pueden definirse en relación a los procesos cognitivos de las personas, pero existe otro nivel que solo puede ser considerado en un contexto social en el que el comportamiento se rige por procedimientos, el de las infracciones.

Las infracciones pueden definirse como desviaciones deliberadas, de las prácticas que se consideran necesarias para mantener el funcionamiento seguro de un sistema potencialmente peligroso.

Se presenta a continuación una clasificación de las posibles infracciones que pueden producirse, incluyendo ejemplos del ámbito ferroviario:

- Infracciones rutinarias: se producen de forma habitual, como consecuencia de la natural tendencia humana a optar por el mínimo esfuerzo, y en un entorno indiferente ante este tipo de infracciones, que rara vez castiga las infracciones o recompensa el cumplimiento de las reglas.

*Ejemplo: un maquinista se dispone a realizar una maniobra de encierre en una cochera, con el objetivo de evitar una comunicación con el Puesto de Mando y hacer la maniobra más rápida, selecciona sin autorización un modo de conducción que no protege del rebase de señales en rojo ni del exceso de velocidad.*

- **Infracciones excepcionales:** se producen ante la realización de tareas concretas o circunstancias operativas que hacen inevitables las infracciones, independientemente de las buenas o malas intenciones de la persona que las comete.

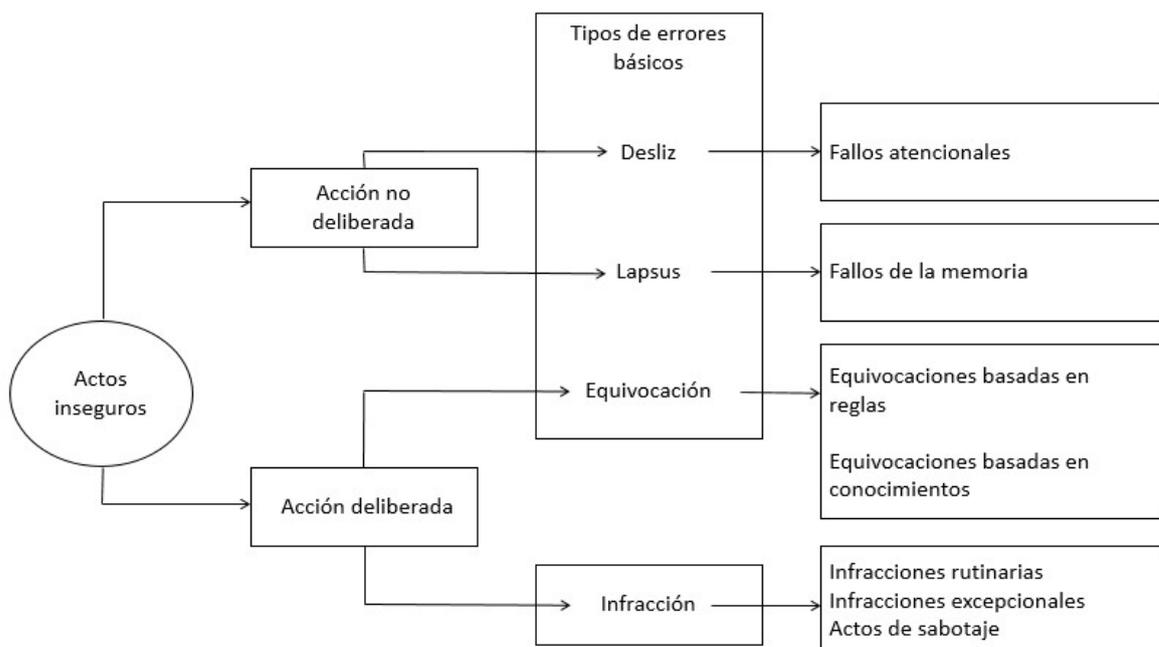
*Ejemplo: un maquinista se encuentra a cargo de un tren situado en una estación ante una señal en rojo y en dicha estación se produce un incendio, entonces, con el objetivo de evitar riesgos para los viajeros que se encuentran en el tren, el maquinista rebasa la señal en rojo, alejándose de la zona de peligro.*

- **Actos de sabotaje:** se producen cuando es una acción deliberada y existe una intención previa de causar un daño en el sistema.

*Ejemplo: un grupo de personas detiene la marcha del tren haciendo uso del freno de urgencia, y realizan un graffiti en el exterior del mismo.*

En la Figura 2, se expone un resumen de las distintas variedades psicológicas de los actos inseguros, que se han indicado anteriormente en el presente epígrafe.

**Figura 2.** Variedades psicológicas de los actos inseguros



Fuente: Reason, 2009.

La realización de actos inseguros, está determinada por una compleja interacción entre influencias intrínsecas en el sistema, influida por los variables factores ambientales y la existencia de determinados peligros.

Una situación de riesgo viene definida cuando un error o una infracción se comenten en presencia de un peligro potencial, por este motivo, un acto inseguro solo puede definirse en relación con la presencia de un peligro en particular.

#### 2.4.4. Modelo SHELL

Los errores no se cometen por azar, ni de forma aislada, sino que se producen durante múltiples interacciones con otras personas, máquinas, procedimientos o circunstancias del entorno, siendo en este contexto donde las personas pueden cometer errores (Gil et al., 2009).

Como se ha tratado anteriormente, los errores pueden clasificarse para conocer su naturaleza cognitiva, pero para conocer el origen de los mismos, es necesario evaluar la relación del individuo con los demás elementos del sistema, lo cual permite conocer cuáles son los factores que subyacen a dicho error humano.

Esta clasificación del error según su naturaleza cognitiva, y los factores subyacentes que surgen del posterior análisis de las interacciones entre los distintos elementos del sistema, permiten conocer todas las oportunidades de ocurrencia del error en todos los contextos posibles (Gil et al., 2009).

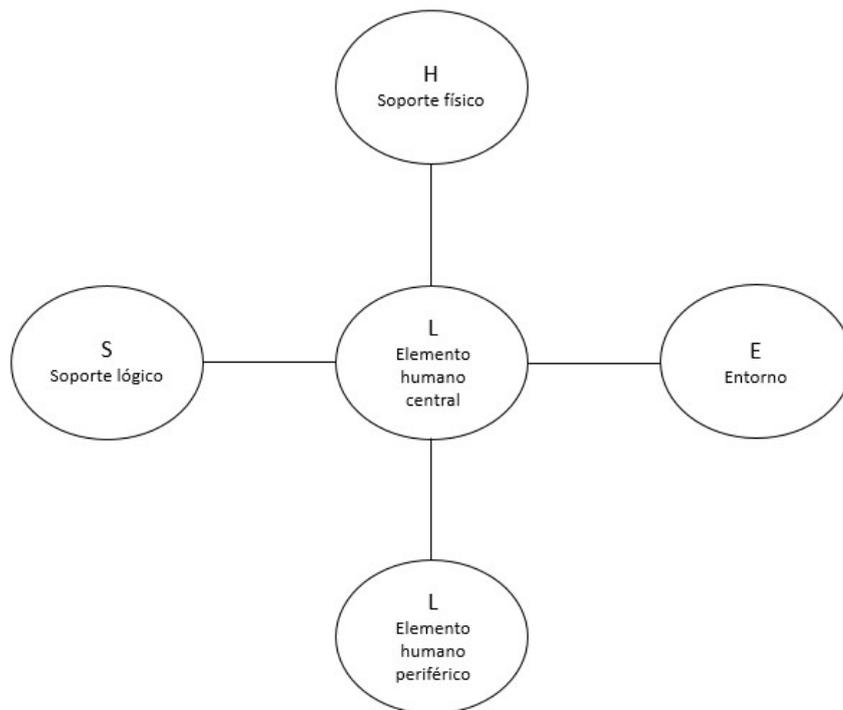
Los componentes del modelo SHELL son los siguientes (Hawkins, 1987):

- **S (Software):** es el soporte lógico o software del sistema, representa los procedimientos operativos, normativas, gestión de la formación, entrenamiento, planificación de la tarea, etc.
- **H (Hardware):** es el soporte físico o hardware del sistema, se refiere a las máquinas, herramientas, instrumentos o controles del tren, etc.
- **E (Environment):** representa el entorno y como este afecta a la persona, define aspectos como la climatología, la infraestructura, la ergonomía del entorno de trabajo, la visibilidad, el ruido, etc.

- **L (Lifeware periférico):** representa al elemento humano periférico, y define la interacción del elemento humano central con otras personas, como supervisores, compañeros de trabajo, operador del Puesto de Mando, etc.
- **L (Lifeware central):** situado en el centro, se encuentra el elemento humano central, el cual representa a la persona con sus capacidades y sus limitaciones, con sus características personales, en interacción con cada uno de los elementos que componen el sistema.

En la Figura 3, puede observarse una representación gráfica de los distintos componentes del Modelo SHELL y sus interacciones.

**Figura 3.** Modelo SHELL



Fuente: Hawkins, 1987.

De cada una de las interacciones que se analicen, se podrán obtener los factores subyacentes al error humano, los cuales pueden ser nombrados por el efecto negativo que ejercen sobre el elemento humano central, como podría ser pérdida de atención, pérdida de la conciencia situacional, etc., determinando en la interacción propiamente dicha, cual ha sido el elemento precursor del error humano (Gil et al., 2009).

*Ejemplo:*

- *Pérdida de la conciencia situacional de un maquinista, durante una comunicación con el Puesto de Mando (interacción L-L).*
- *Pérdida de la conciencia situacional de un maquinista, al atender varias alarmas generadas en el terminal de cabina del tren (interacción L-H).*
- *Pérdida de la conciencia situacional de un maquinista, por condiciones climatológicas que dificultan la visibilidad (interacción L-E).*
- *Pérdida de la conciencia situacional de un maquinista, por falta de entrenamiento en una circunstancia específica (interacción L-S).*
- *Pérdida de la conciencia situacional de un maquinista, influida por fatiga del mismo (interacción L).*

No obstante, es complicado conocer bien los efectos de dichas interacciones, ya que determinadas tareas implican una interacción entre más de dos elementos simultáneamente, lo que aumenta de forma considerable el número de interacciones posibles.

## 2.5. Barreras para prevenir los errores y sus consecuencias

Comprender el papel que juegan las barreras en los accidentes, es algo muy relevante a la hora de gestionar la seguridad operacional en un sistema.

Este papel puede interpretarse de dos formas distintas (Hollnagel, 2009):

- La ausencia o el fallo de una barrera puede ser, en parte, la causa de un accidente, siendo este aspecto fundamental para el análisis y la explicación de los accidentes.
- La existencia y el funcionamiento adecuado de una barrera, puede reducir la cantidad de accidentes que se producen en un sistema, así como sus consecuencias en el caso de que el accidente haya sido inevitable, siendo este aspecto fundamental para la prevención de los accidentes.

En los siguientes epígrafes, se realiza un análisis de las principales teorías, orientadas a la comprensión y la prevención de los accidentes, mediante el uso de los distintos sistemas de barrera.

### 2.5.1. Aprender de los errores

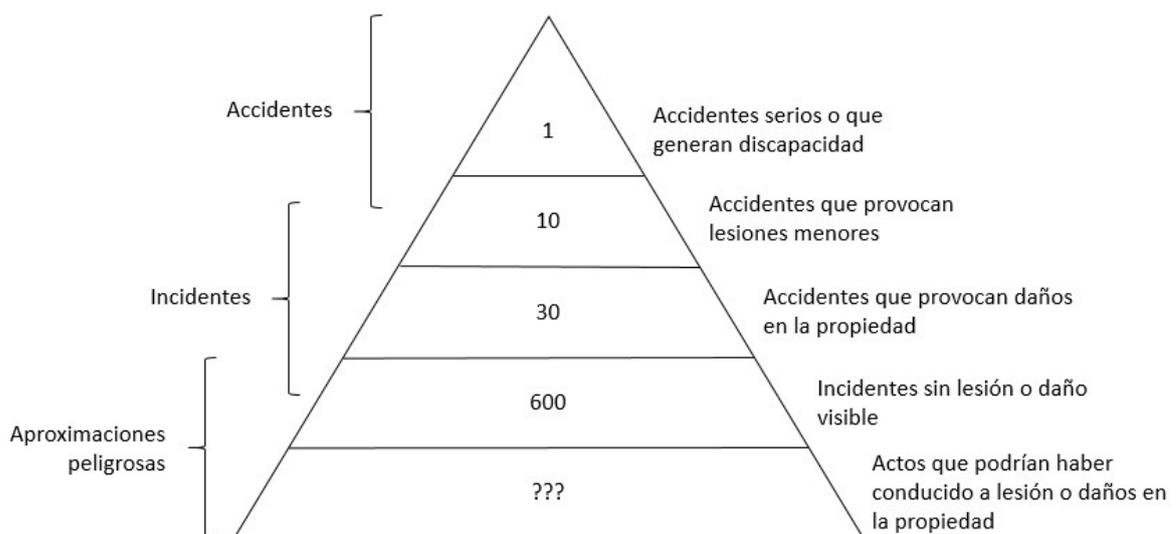
Un accidente, podría definirse como un acontecimiento de corta duración, que se produce de forma repentina e inesperada, y que da lugar a un resultado no deseado. Dicho acontecimiento, puede ser directa o indirectamente resultado de un error humano (Hollnagel, 2009).

Los accidentes, pueden clasificarse técnicamente de la siguiente forma, en función de las consecuencias que originan (Hollnagel, 2009):

- Accidentes: son sucesos o acontecimientos imprevistos, que resultan en daño severo a la propiedad, en una lesión o en la pérdida de la vida.
- Incidentes: igualmente, son sucesos o acontecimientos imprevistos, que resultan en una lesión menor o en un daño leve a la propiedad.
- Aproximaciones peligrosas: son sucesos potencialmente significativos para la seguridad, que finalmente se evitaron y no llegaron a tener consecuencias reales.

Los datos que se indican en la figura 4, están basados en el análisis de 1.753.498 accidentes declarados en 21 grupos industriales diferentes (Bird, 1974).

**Figura 4.** Pirámide de Bird



Fuente: Bird, 1974.

A la hora de realizar un control sobre los accidentes e incidentes que se producen en un sistema, podría considerarse insuficiente que las organizaciones destinen su esfuerzo total en

prevenir únicamente los escasos accidentes que originan lesiones serias o graves daños, ya que se producen un total de 640 aproximaciones peligrosas e incidentes por cada 1 accidente, que pueden proporcionar una mayor cantidad de información para llevar a cabo un control más efectivo de la seguridad operacional (Hollnagel, 2009).

Actuar sobre los estratos inferiores de la pirámide proporciona a las organizaciones los siguientes beneficios, orientados a obtener un aprendizaje de este tipo de sucesos (Hollnagel, 2009):

- No es necesario esperar a que se produzca un accidente grave para aprender de este tipo de sucesos, ya que hay muchas más oportunidades intermedias.
- El aprendizaje es menos costoso, ya que la experiencia es directa y las consecuencias de los sucesos analizados son menores.

Este enfoque, debería ser rentable en última instancia para la organización, ya que, empleando los recursos necesarios e invirtiendo tiempo y esfuerzo en investigar este tipo de sucesos, se pueden obtener valiosas lecciones que son gratuitas, ya que estos son sucesos que no han originado consecuencias mayores (Energy Institute, 2016).

Según el estudio realizado por Madigan et al. (2016), para proporcionar un análisis retrospectivo de incidencias menores en el sector ferroviario, el análisis de dichas incidencias que son de menor relevancia por no provocar daños a personas o instalaciones, proporcionan una información mucho más amplia para interpretar los eventos causales que originan los accidentes, ya que este tipo de sucesos ocurre con una mayor frecuencia que los accidentes graves, lográndose un mayor nivel de comprensión de los mecanismos necesarios para prevenir futuros accidentes.

### 2.5.2. Clasificación de los sistemas de barrera

Un accidente puede considerarse como una cadena o secuencia de fallos, errores o disfunciones, que derivan en un resultado no deseado. Con el objetivo de detener la evolución del accidente, de forma que el siguiente acontecimiento de dicha cadena no llegue a producirse y evitar así el mismo, las organizaciones establecen sistemas de barrera, los cuales pueden ser un operador, un procedimiento, una separación física, un sistema de control relacionado con la seguridad, etc (Svenson, 1991).

Según Reason (1993), las barreras tienen seis funciones claramente diferenciadas:

- Protección: establecen una barrera entre los riesgos y las víctimas potenciales, en condiciones normales de funcionamiento del sistema.
- Detección: detectan e identifican la aparición de una condición anormal, un acto arriesgado o la presencia de una situación peligrosa.
- Advertencia: señalizan la presencia de una situación de riesgo, a las personas que puedan exponerse a la misma.
- Recuperación: permiten restaurar el sistema tras una situación de riesgo, para que este retorne a un estado seguro.
- Contención: restringen la expansión del riesgo en el caso de que se produzca un fallo.
- Salida: permiten una evacuación segura de todas las víctimas potenciales, después de producirse un accidente.

Los sistemas de barrera pueden variar desde obstáculos físicos, a procedimientos o normativas etéreas. Según su naturaleza, pueden clasificarse en las cuatro categorías siguientes (Hollnagel, 2009):

- Sistemas de barrera física o material: evitan de forma física que una acción pueda llevarse a cabo, o que tenga lugar un suceso. Una característica importante de este tipo de barreras, es que no tienen que ser percibidos o interpretados por el operador para que funcionen.  
*Ejemplos: las puertas del recinto de viajeros de los trenes, las puertas mamparas de los andenes de las estaciones, los vallados perimetrales que delimitan la plataforma de vía, la existencia de un calzo descarrilador a la salida de una cochera que mitiga el riesgo de acceso no autorizado de un tren a vía principal, etc.*
- Sistemas de barrera funcional: actúan impidiendo que la acción pueda llevarse a cabo mediante el establecimiento de un bloqueo intermedio, de forma que tienen que cumplirse una o varias condiciones previas antes de que dicha acción pueda ser realizada.  
*Ejemplos: cerradura de las puertas de acceso a cabina de conducción, sistema de toma de mando del tren con tarjeta sin contacto, sistema ATP que provoca de forma automática la activación del freno de emergencia del tren ante un rebase de señal o un exceso de velocidad, etc.*

- Sistemas de barrera simbólica: este tipo de sistemas deben ser interpretados para que puedan cumplir su objetivo, y, por tanto, necesitan ser percibidas por el operador y que este responda según lo previsto.

*Ejemplos: señalización ferroviaria, señales de limitación de velocidad, alarma acústica por exceso de velocidad del tren, alarma de rebase de señal en CTC, etc.*

- Sistemas de barrera incorpórea: carece de forma material y depende del conocimiento del usuario para que cumpla su objetivo. Este tipo de barrera suele existir de una forma física como libro o memorando, pero no suele estar presente de forma material cuando hay que hacer uso de él.

*Ejemplos: marco normativo, procedimientos operativos, manuales de comunicaciones, etc.*

En la Tabla 4, se expone un resumen de la clasificación de los distintos sistemas de barrera, identificando sus funciones e ilustrando cada uno de ellos con ejemplos del ámbito ferroviario.

**Tabla 4.** *Resumen de la clasificación de sistemas de barrera*

<b>Sistema de barrera</b>	<b>Función</b>	<b>Ejemplos</b>
Física	Evitar de forma física que una acción pueda llevarse a cabo	Puertas de los trenes, vallados perimetrales en plataforma de vía, calzo descarrilador, etc.
Funcional	Establecer un bloqueo intermedio que impida que pueda realizarse una acción	Cerradura en puertas de cabina de conducción, toma de mando del tren con tarjeta, sistemas de protección automática del tren ATP/ASFA/ERTMS, etc.
Simbólica	Informar para facilitar acciones correctas o contrarrestar acciones incorrectas	Señalización ferroviaria, señales de limitación de velocidad, alarma acústica de exceso de velocidad en tren, alarma de rebase de señal en CTC, etc.
Incorpórea	Establecer normas, instrucciones, prohibiciones, etc.	Marco normativo, procedimientos operativos, manuales de comunicaciones, etc.

Fuente: Elaboración propia.

Para prevenir accidentes y evaluar riesgos, es importante anticiparse a cómo pueden fallar las barreras establecidas ante un error humano. Esta actuación, permite que se consideren en primer lugar los posibles fallos del sistema, y, en segundo lugar, los posibles errores humanos, con el objetivo de establecer unas barreras que mitiguen de forma efectiva el riesgo derivado de dichos errores (Hollnagel, 2009).

Por otra parte, es relevante considerar que el nivel de fiabilidad de las barreras establecidas, debe ser acorde con la magnitud del riesgo que pretenden mitigar.

## 2.6. Gestión de la seguridad operacional

A la hora de analizar los riesgos derivados del Factor Humano, las organizaciones han dejado de centrarse en el operador de primera línea, para expandir el campo de estudio hacia su interacción con otros elementos del entorno ferroviario, como la infraestructura, el diseño de los interfaces de los trenes, los factores contextuales y operacionales, la gestión del personal, etc., apareciendo las causas que subyacen a los sucesos no deseados a partir de dicha interacción (Gil et al., 2009).

Según el Reglamento Delegado 2018/762 de la Comisión Europea, el comportamiento humano desempeña un papel fundamental en el funcionamiento seguro y eficiente del ferrocarril, y cuando se considera que dicho comportamiento ha podido contribuir a un incidente o accidente, se debe valorar una posible influencia de ciertos aspectos organizativos, como la carga de trabajo o las características de los puestos de trabajo. Es fundamental, por tanto, que las organizaciones ferroviarias adopten un enfoque sistémico para apoyar la actuación humana y para gestionar los Factores Humanos y Organizativos dentro del sistema de gestión de la seguridad.

Cuando se analiza el origen de un error humano, ya no se consideran conductas individuales y aisladas como única explicación, dado que esto aporta una información poco útil para la prevención de accidentes e incidentes, siendo de especial relevancia los siguientes aspectos en este ámbito (Gil et al., 2009):

- Se considera que no puede haber una única causa, ya que el suceso generalmente ha sido consecuencia de un fallo consecutivo en las diferentes barreras al error existentes.
- Se debe tener en cuenta que el operador forma parte de un entorno sociotécnico, y que es en este entorno en el cual se produce el fallo humano y el accidente.

Desde este punto de vista, se puede considerar que el error humano en el sistema ferroviario, puede ser consecuencia de una acción u omisión, realizada por una persona implicada en operaciones de tráfico ferroviario, mantenimiento de material rodante o de infraestructuras, etc., que proviene de un desajuste entre las capacidades de las personas y las exigencias de las tareas (Gil et al., 2009).

Con el objetivo de dirigir los esfuerzos preventivos, hacia la mejora de los elementos del sistema que realmente muestran fisuras y a través de las cuales se introduce el error humano, las organizaciones deben conocer e identificar los siguientes factores (Gil et al., 2009):

- Factores humanos: son las características de las personas, de su entorno y de la organización, cuya interacción influye en los niveles de rendimiento humano.
- Factores de riesgo latente: son los factores evaluados negativamente, que todavía no han originado ningún accidente o incidente.
- Factores subyacentes: son los factores que se asocian con tendencias de errores humanos, y que originan situaciones en las cuales aumenta la probabilidad de que se produzcan los mismos.

### 2.6.1. Evaluación de riesgos

La gestión de riesgos, es el proceso que tiene establecido una organización para identificar los mismos y tomar medidas para eliminarlos o mitigarlos, mediante la implementación de determinados mecanismos de control (Nguyen et al., 2022).

Para poder realizar una gestión eficiente de la seguridad operacional, es fundamental que las organizaciones conozcan los riesgos que se encuentran presentes en su sistema, así como las medidas de mitigación o barreras que tienen establecidas, para evitar que dichos riesgos puedan derivar en un accidente o incidente.

Para ello, es importante conocer las funciones o tareas que constituyen los distintos puestos de trabajo que forman parte de la organización, para comprender las exigencias de cada tarea y las competencias que deben poner en juego los operadores para abordarlas. Esto puede llevarse a cabo, mediante un proceso sistemático de análisis que permita identificar cual es la demanda cognitiva o física de cada una de las tareas (Gil et al., 2009).

Según el Reglamento Delegado 2018/762 de la Comisión Europea, la organización ferroviaria debe encargarse de detectar y analizar todos los riesgos operativos, organizativos y técnicos significativos para las operaciones que realice, entre los cuales debe incluir los riesgos derivados de los Factores Humanos y Organizativos, como la carga de trabajo, las características de los puestos de trabajo, el cansancio o la idoneidad de los procedimientos.

Con este fin, la organización debe desarrollar una estrategia, utilizando conocimientos técnicos y métodos reconocidos en el ámbito de los Factores Humanos y Organizativos, para

abordar los riesgos asociados al diseño y uso de los equipos, las tareas, las condiciones laborales, etc., teniendo en cuenta las capacidades y las limitaciones humanas, así como los elementos que influyen en la actuación del ser humano.

Una técnica que puede utilizarse con este fin, es el método de Análisis de Tareas, el cual puede definirse como el estudio de lo que se requiere del operador, en términos de acciones o procesos cognitivos, para que realice una tarea o alcance un objetivo (Kirwan y Ainsworth, 1992).

El método de Análisis de Tareas más utilizado, es el Análisis Jerárquico de Tareas, mediante el cual se realiza el listado, la descripción y el análisis exhaustivo de las tareas, de los errores posibles relacionados con las mismas, así como de los modos de recuperación del error en cada uno de los casos, permitiendo alcanzar los siguientes objetivos (Annette et al., 1971):

- Describir las tareas en términos de conducta.
- Identificar las tareas críticas para la seguridad.
- Evaluar la secuencia de actuaciones que se requiere para la realización de las tareas, y valorar que errores pueden producirse durante su realización.
- Identificar los riesgos asociados a la realización de las tareas.
- Conocer el entorno de trabajo.
- Conocer los factores que subyacen a los errores.
- Implementar medidas mitigadoras específicas, a cada uno de los riesgos detectados.

A continuación, en la Tabla 5, se muestra un ejemplo de cómo se podría abordar la identificación de los riesgos, derivados de la tarea de realizar una maniobra de encierre con un tren en una cochera, por un maquinista.

**Tabla 5. Ejemplo Análisis Jerárquico de Tareas**

Operaciones	Tareas críticas	Errores	Demanda cognitiva
Realización de maniobras de encierre en cocheras	Confirmar visualmente los aspectos de la señalización ferroviaria	Focalizar la atención en algún elemento de cabina	Atención sostenida
		Focalizar la atención en otro elemento del entorno	Procesamiento visual de la información
		Focalizar la atención en una señal distinta	Interpretación
	Circular en modo de conducción protegido hasta donde sea posible	No comprobar la selección de modo de conducción protegido	Atención dividida
		Olvidar seleccionar modo de conducción protegido	Comprobación y chequeo  Recuerdo

Fuente: Elaboración propia.

El Análisis Jerárquico de Tareas, permite analizar tareas complejas de una manera jerárquica, dividiendo y descomponiendo las mismas en subtareas de una forma ordenada, permitiendo identificar todas aquellas situaciones de error que pueden acontecer durante su desempeño, y sirviendo para conocer sus posibles demandas cognitivas (Gil et al., 2009).

### 2.6.2. Investigación de accidentes e incidentes

Como se comentó en el punto anterior, para realizar una gestión eficiente de la seguridad operacional, es fundamental que las organizaciones conozcan los riesgos que se encuentran presentes en su sistema.

Una de las principales fuentes de información para identificar los riesgos presentes, es la investigación de los accidentes e incidentes que se producen en el sistema ferroviario.

La investigación de accidentes e incidentes, ha demostrado que es la organización en su conjunto la que debe ser analizada, y no limitarse únicamente a la actividad relacionada con el suceso, ya que es la organización la que determina las condiciones de dicha actividad (Gil et al., 2009).

El primer paso que debe darse a la hora de iniciar el proceso de investigación de un accidente o incidente con factores humanos implicados, es el de realizar una recogida de datos buscando prioritariamente interacciones entre personas, máquinas, el entorno o la organización, abarcando principalmente los siguientes aspectos (Gil et al., 2009):

- Procedimientos utilizados en las operaciones que se deben analizar.
- Instrucciones transmitidas a los operadores.
- Distribución espacial e interacción con los equipos.
- Estructura jerárquica y agentes implicados.
- Comunicaciones previas al suceso.
- Características de los trenes y de la señalización.
- Cualquier información adicional que se considere relevante.

Una vez recogidos todos los datos relacionados con el suceso, el siguiente paso sería abordar la realización de entrevistas, como mínimo con todas las personas involucradas en el suceso, como maquinistas, operadores del Puesto de Mando, supervisores o mandos intermedios, etc. (Gil et al., 2009).

Durante la realización de estas entrevistas, las preguntas deben estructurarse en función de las interacciones SHELL que se pretenden explorar, con el objetivo de obtener información relacionada con los siguientes factores (Gil et al., 2009):

- Factores relacionados con el soporte físico o el hardware: evidencias relacionadas con el diseño o la ergonomía de algún sistema, que no permitió al operador ejecutar la acción correcta.
- Factores relacionados con el entorno o environment: información relacionada con la ergonomía de la infraestructura, como la ubicación de las señales, el trazado de la vía o las condiciones climatológicas, que pudieron influir en el suceso.

- Factores relacionados con el soporte lógico o software: posibles influencias en el suceso, relacionadas con normativas o procedimientos poco claros, falta de formación o entrenamiento, cambios recientes en procedimientos, priorización de operación frente a seguridad, etc.
- Factores relacionados con interacciones con otras personas: posibles errores en las comunicaciones realizadas con otros agentes, omisión de comunicaciones del Puesto de Mando ante situaciones críticas, interacciones entre agentes que hayan podido originar una distracción, etc.
- Factores relacionados con el elemento humano central o liveware: factores personales que hayan podido influir en el suceso, como fatiga, atención disminuida, percepción del riesgo inadecuada, estado psicofísico, etc.
- Otros factores: realizar una reflexión conjunta con el entrevistado sobre que debería haber ocurrido para que no hubiese ocurrido el suceso, o para que no vuelva a ocurrir en el futuro.

Según la Directiva 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo, la investigación que se realice después de un accidente grave, debe llevarse a cabo de manera que todas las partes tengan posibilidad de ser escuchadas, permitiendo al organismo de investigación recabar toda la información adicional pertinente y ser conocedor de distintas opiniones sobre su labor, para poder completar del modo más adecuado su investigación. Esta consulta, no debe conducir en ningún caso a atribuir culpa o responsabilidad, sino a recoger pruebas y extraer lecciones para la mejora futura de la seguridad.

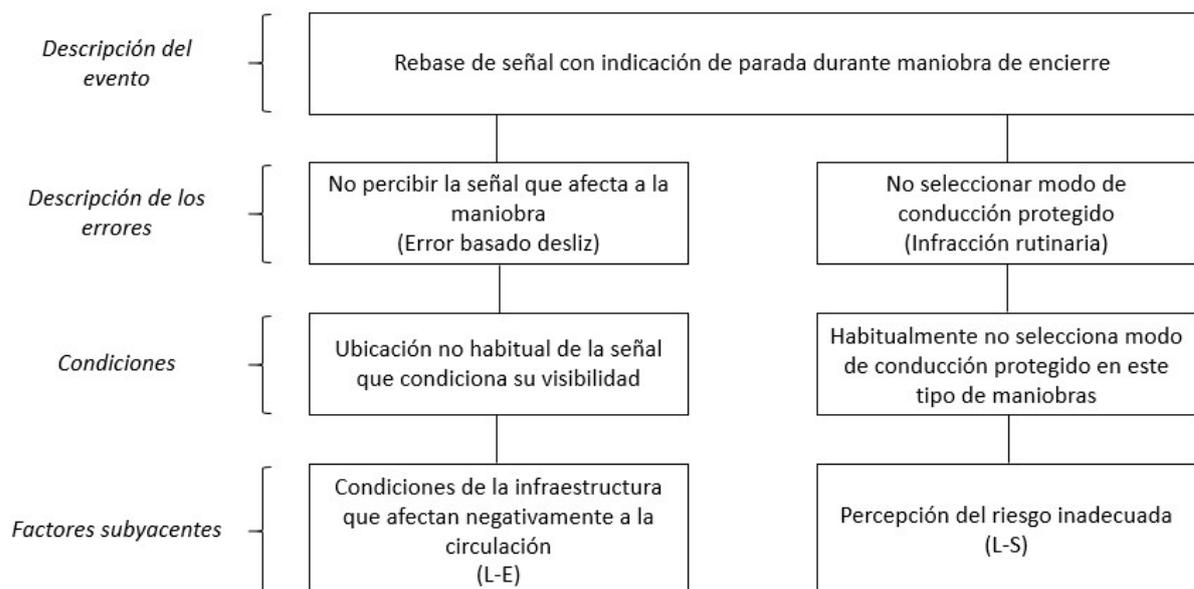
Tras obtener toda la información sobre el suceso durante la fase de recogida de datos, se debe priorizar lo que más ha podido influir en el accidente frente a lo menos significativo, distinguiendo lo esencial de lo superfluo, siendo conveniente para ello (Gil et al., 2009):

- Entender la actividad que se desarrollaba en el momento del suceso.
- Reconstruir el escenario de los hechos.
- Aclarar los datos inconsistentes de las evidencias.
- Corroborar la información obtenida en las entrevistas.
- Revisar procedimientos y valorar su posible influencia en el suceso.
- Distinguir entre evidencias y suposiciones.
- Establecer una cronología de los eventos producidos durante el suceso.

El objetivo de la investigación, es conocer qué ocurrió y por qué motivo, teniendo en cuenta que los accidentes son multicausales, y que en ocasiones las verdaderas causas pueden encontrarse alejadas del momento y del lugar en el que tiene lugar el suceso, considerándose un error quedarse con las causas más obvias. Para ello, es recomendable organizar la información obtenida utilizando el método del Diagrama de Influencia de Factores Humanos, siguiendo unos pasos básicos (Gil et al., 2009):

- Ordenar cronológicamente la secuencia de los eventos que han dado lugar al suceso.
- Describir el suceso que ha tenido lugar.
- Identificar los errores y las infracciones, cometidos por los agentes implicados en el suceso, clasificando los mismos mediante el modelo GEMS.
- Identificar las condiciones que han derivado en que el suceso haya tenido lugar.
- Identificar los factores subyacentes al error humano, clasificándolos según el modelo SHELL.

**Figura 5.** Ejemplo Diagrama de Influencia de Factores Humanos



Fuente: Elaboración propia.

El proceso de investigación finaliza con la elaboración de un informe estructurado, el cual debe reflejar claramente las causas y los errores humanos, así como los factores subyacentes. En el mismo, las conclusiones, recomendaciones y oportunidades de mejora, deben ir claramente referenciadas a dichos errores humanos y factores subyacentes (Gil et al., 2009).

Una recomendación de seguridad, no debe dar lugar en ningún caso a la presunción de culpa o de responsabilidad por un accidente o incidente (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2016).

Según el Reglamento de Ejecución 2020/572 de la Comisión Europea, en un informe de investigación de accidentes e incidentes ferroviarios, si los factores causantes o coadyuvantes, o las consecuencias de una incidencia se encuentran relacionados con acciones humanas, se deben incluir en el mismo las circunstancias particulares y el modo en el que el personal efectúa las actividades rutinarias durante el funcionamiento normal, así como los Factores Humanos y Organizativos que podrían influir en las acciones o decisiones, como los siguientes:

- Características humanas e individuales: formación, capacidad, experiencia, circunstancias médicas o personales, cansancio, etc.
- Factores de trabajo: diseño de tareas, diseño de los equipos, medios de comunicación, procesos, normas, instrucciones, tiempo de trabajo del personal, contexto, etc.
- Factores organizativos y reparto de tareas: planificación y carga de trabajo, comunicaciones, trabajo en equipo, contratación y selección, supervisión, compensación, liderazgo, cultura organizativa, marco normativo, sistema de gestión de la seguridad, etc.
- Factores medioambientales: ruido, iluminación, vibraciones, condiciones meteorológicas y geográficas, etc.

El informe de investigación, tiene el objetivo de evaluar las barreras el error humano que han fallado, para proponer una estrategia preventiva de cara al futuro, que pueda reducir las posibilidades de que se vuelva a producir un suceso similar. Además, es un medio para que otras compañías ferroviarias aprendan de la experiencia y puedan implementar medidas similares en su sistema de gestión de la seguridad (Gil et al., 2009).

Según un estudio realizado por Nguyen et al. (2022), los errores humanos tienen un impacto significativo en la tasa riesgos general de un sistema ferroviario, siendo de especial relevancia la publicación de información sobre accidentes ferroviarios para minimizar el error humano.

Por otra parte, es importante establecer narrativas relevantes en las conclusiones de los informes de investigación, con el objetivo de que las organizaciones puedan comprender las

causas del suceso de una forma intuitiva y reflexionar sobre el mismo, con el objetivo de aprender de los errores e implementar las medidas mitigadoras necesarias (Braut et al., 2014).

### 2.6.3. Reporte confidencial de riesgos en un marco de cultura justa

La cultura de seguridad, es un conjunto de patrones de comportamiento y pensamiento, compartidos dentro de una organización, que se encuentran directamente relacionados con la gestión de los riesgos y de las actividades que se llevan a cabo en la misma. Las organizaciones definen sus formas de trabajar a través de la elaboración de normativas y procedimientos, pero estos procedimientos se complementan con normas no escritas que rigen el comportamiento y las decisiones de las personas, las cuales vienen determinadas por la cultura de la organización (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2022).

Con el objetivo de evolucionar hacia un enfoque de seguridad en la organizaciones ferroviarias, que permita fortalecer su cultura de la seguridad, la Directiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo, establece que los administradores de infraestructuras y las empresas ferroviarias, fomentarán a través de su sistema de gestión de la seguridad, una cultura de confianza y aprendizaje mutuos, en la que se anime al personal a contribuir al desarrollo de la seguridad, al tiempo que se garantice su confidencialidad.

La mejor herramienta para alcanzar este objetivo, es la implementación de un sistema de reporte confidencial de riesgos en la organización, el cual es una estrategia que permite obtener información a través del reporte de los empleados de una entidad ferroviaria, sobre eventos de riesgo, amenazas para la seguridad, peligros, condiciones inseguras, actos inseguros, errores humanos, transgresiones normativas, errores organizacionales, fallos del sistema, así como cualquier circunstancia que pueda afectar a la seguridad, aportando las siguientes mejoras en la gestión de la seguridad operacional (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2022):

- Proporciona información relevante sobre la efectividad de los sistemas de gestión de la seguridad operacional.
- Permite entender los incidentes y sucesos no intencionados, como una oportunidad para aprender y mejorar.
- Aporta más oportunidades de detectar y analizar riesgos, para prevenir accidentes e incidentes.

- Ayuda a definir estrategias de actuación, a proponer barreras preventivas más eficaces, a comprender mejor la actuación humana y a mejorar procedimientos operacionales y controlar su impacto en la seguridad.
- Permite involucrar a los trabajadores en las cuestiones relacionadas con la seguridad, lo que deriva en que tengan una mayor confianza en el sistema y compartan con la dirección de la compañía el compromiso con la seguridad.

Esta recopilación de datos sobre seguridad operacional, debe centrarse en las situaciones de riesgo que se puedan identificar, reportar y evaluar, con el objetivo de establecer medidas que permitan prevenirlas, antes de que se transformen en incidentes disruptivos o accidentes.

Cualquier sistema de reporte confidencial de riesgos debe estar enmarcado dentro de la cultura justa, por lo que deben considerarse los siguientes criterios durante su ejecución (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2022):

- Debe protegerse la confidencialidad de los notificadores.
- No se deben aplicar acciones disciplinarias por infracciones involuntarias que hayan sido reportadas, salvo casos de negligencia grave.

Es importante, para fomentar el reporte de riesgos, que, tanto el notificador como los trabajadores, obtengan una respuesta a la notificación, informando de las lecciones aprendidas de la misma, y demostrando así que la organización valora el esfuerzo y el compromiso del informante.

#### 2.6.4. Safety I y Safety II

El análisis que se presenta a continuación, se basa principalmente en la información recogida en el artículo From Safety I to Safety II, publicado por la European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL) en el año 2013.

Cuando se valora la forma de gestionar la seguridad operacional de un sistema, dicha valoración puede realizarse en base a la ausencia de accidentes o incidentes, o como un nivel de riesgo aceptable, que se caracteriza por un estado en el que se reducen al mínimo los errores humanos.

Este tipo de gestión de la seguridad operacional se denomina como Safety I, y se centra en el concepto de que los fallos pueden venir derivados de causas técnicas, humanas y

organizativas, considerando predominantemente al ser humano como una responsabilidad o un riesgo que hay que controlar.

En base a estos principios, la gestión de la seguridad operacional Safety I, se fundamenta en dar una respuesta cuando se produce un accidente o se detecta un riesgo que se clasifica como inaceptable, realizándose en consecuencia una investigación de accidentes para identificar las causas y los factores que han influido en el mismo, o determinando la probabilidad de que dicho riesgo se materialice en accidente, ambos enfoques con el objetivo de mitigar las causas y de mejorar las barreras que previenen estos sucesos.

No obstante, la visión Safety I no termina de encajar en los sistemas modernos, en los que las funciones no son bimodales, y el desempeño humano debe ser variable y flexible, dada la evolución de la demanda de rendimiento y complejidad de la tarea.

Este tipo de gestión de la seguridad operacional, no permite conocer el motivo por el cual el desempeño humano prácticamente siempre sale bien, teniendo en cuenta que la razones por las cuales las tareas se realizan correctamente, no están motivadas por el hecho de que las conductas de las personas se correspondan con la tarea prescrita, sino por el hecho de que las personas pueden ajustar sus conductas para adaptarse a la tarea prescrita.

El desempeño, las acciones y las decisiones de las personas en los sistemas sociotécnicos complejos tienen un papel muy importante. En ocasiones, los seres humanos han tenido éxitos notables frente a una situación inesperada, como por ejemplo el exitoso amerizaje del vuelo de US Airways en el río Hudson en 2009, pero, en otras ocasiones, la actuación humana no ha tenido éxito y se han puesto en relieve ciertas deficiencias organizativas y operativas, como en el accidente ocurrido como consecuencia de un terremoto, en la central nuclear de Fukushima en 2011 (Miltos et al., 2018).

Para desarrollar la gestión de la seguridad operacional en un sistema actual, es fundamental conocer cómo las personas se ajustan a la tarea para un desempeño exitoso. Esto cambia el enfoque de la gestión de la seguridad operacional, pasando de intentar que se produzcan la menor cantidad de errores posibles, a intentar garantizarse que las tareas se realicen correctamente y de una forma segura. A esta perspectiva se la denomina Safety II, y se la relaciona con la capacidad del sistema para tener éxito en diversas condiciones.

De acuerdo con la visión Safety II, la variabilidad del desempeño diario a la que se tienen que adaptar las personas para responder a las situaciones cambiantes, es la razón por la cual las tareas se realizan de forma segura. En consecuencia, el ser humano, desde esta perspectiva es visto como un recurso necesario para la flexibilidad y la resiliencia del sistema.

Desde este punto de vista, el principio que rige la gestión para la seguridad operacional, se basa en anticiparse de forma continua al desarrollo de los eventos, variando el propósito de la investigación de accidentes hacia comprender cómo las tareas se realizan de una forma segura, como base para explicar por qué motivo ocasionalmente se producen errores humanos, y orientando la evaluación de riesgos hacia comprender cuáles son las condiciones de trabajo, en las cuales la variabilidad del desempeño humano puede tornarse difícil o imposible.

A la luz de estas crecientes demandas derivadas de la complejidad del sistema, el enfoque de la seguridad operacional debe adaptarse a los nuevos tiempos, ya que, si bien muchos sucesos pueden abordarse todavía con el enfoque Safety I sin consecuencias graves, hay un número creciente de situaciones en las cuales este enfoque no funcionará, y no permitirá conocer cómo, a través de las acciones cotidianas, las personas consiguen garantizar la seguridad operacional.

Por tanto, el camino a seguir en cuanto a la gestión de la seguridad operacional, radica en avanzar hacia un enfoque Safety II, mientras se combinan simultáneamente ambos enfoques Safety I y Safety II, ya que la mayoría de los métodos y técnicas existentes pueden continuar utilizándose, pero incluyendo nuevas prácticas en la gestión de la seguridad operacional. Dichas prácticas, pueden orientarse a buscar lo que funciona bien, centrándose en eventos frecuentes, anticipándose de forma proactiva a la posibilidad de que se puedan producir fallos en el sistema, así como gestionándose la seguridad operacional de una forma minuciosa y eficiente, considerándose estas actuaciones como una inversión para la seguridad y para la productividad de la organización.

#### 2.6.5. Mejora de la cultura de seguridad en una compañía ferroviaria

Una cultura de seguridad positiva, permite que los trabajadores y las organizaciones a las que pertenecen se esfuercen por mejorar la seguridad, aumentando la satisfacción en el trabajo y ayudando a alcanzar las expectativas reglamentarias, ya que las autoridades de seguridad

reconocen cada vez más el importante papel de la cultura de seguridad para conseguir una gestión eficaz de la seguridad operacional. Una cultura de seguridad positiva puede mejorar los siguientes aspectos en una organización (European Union Agency for Railways, 2022):

- Reducción del riesgo operacional a través de evaluaciones de riesgos más exhaustivas, que permiten una comprensión mejorada de los mismos.
- Eliminación de los riesgos identificados a través del reporte confidencial de riesgos.
- Reducción de las conductas inseguras, gracias al compromiso de los trabajadores y de la dirección de la compañía con la seguridad.
- Reducción del coste y de los posibles daños personales, derivados de los accidentes e incidentes.
- Implementación de Sistemas de Gestión para la Seguridad más eficientes, con procedimientos y normas que se ajustan más a la realidad.

En los sistemas ferroviarios en los que se ha implementado una cultura de seguridad sostenible, los empleados se involucran y se enorgullecen de su organización, se sienten propietarios del servicio que brindan, sienten pasión por atender a sus clientes e informan sobre sus preocupaciones relacionadas con la seguridad, originando esto una reducción significativa en el número de incidentes (McElveen, 2019).

Con el objetivo de analizar una posible aplicación práctica, relacionada con la gestión de la seguridad operacional desde el punto de vista de los Factores Humanos y Organizativos, a continuación se propone un supuesto práctico.

Una compañía ferroviaria que opera a nivel nacional, pretende mejorar la cultura de seguridad entre los trabajadores que realizan tareas críticas, relacionadas con la operación ferroviaria.

Los colectivos de trabajadores y trabajadoras que se van a ver principalmente implicados en esta campaña, son los siguientes:

- Maquinistas: agentes encargados de la conducción de un tren.
- Jefes de Circulación: agentes que ejercen el mando del personal de movimiento y del personal de los trenes, en todo lo relativo a la circulación.
- Operadores del Puesto de Mando: agentes encargados de realizar la gestión, control y supervisión de las operaciones ferroviarias.

- Mandos intermedios del Puesto de Mando: agentes encargados de supervisar la actividad de los Operadores del Puesto de Mando.
- Técnicos: con funciones relacionadas con la operación o la seguridad operacional.
- Directivos de la compañía.

Debido a las propiedades fundamentales de la cultura, la cual se crea a través de interacciones diarias entre personas, existe una cierta dificultad a la hora de realizar un cambio en la misma.

Por este motivo, se propone la elaboración de una estrategia a largo plazo, de cuatro años para comenzar, con evaluaciones intermedias anuales, que cuente con el apoyo de la alta dirección de la compañía.

### **Reporte confidencial de riesgos.**

En primer lugar, se propone implementar un sistema de reporte confidencial de riesgos, que permita a cualquier trabajador compartir inquietudes y preocupaciones relacionadas con la seguridad.

Para asegurar un correcto funcionamiento de este sistema de reporte, se debe garantizar el anonimato de los trabajadores que hagan uso del mismo, asegurando que la información que proporcionen se utilizará para mejorar aspectos organizativos y no con el objetivo de culpabilizar, mejorando así la confianza entre la organización y las personas.

Un medio adecuado para implementar este sistema de reporte, sería la intranet de la organización, permitiendo que esté permanentemente disponible para todas las personas que forman parte de la compañía.

Cada uno de los reportes que se realicen, debe ser metódicamente analizado desde una perspectiva sistémica, teniendo en cuenta los Factores Humanos y Organizativos que hayan podido influir en dichas situaciones de riesgo, implementándose medidas enfocadas a mitigar dichos riesgos. Además, se deberá dar feedback a la persona que haya realizado el reporte, informando de su recepción y de las gestiones realizadas, agradeciendo su colaboración, para así fomentar la confianza entre las personas y la organización.

**Recompensar visiblemente los comportamientos seguros y la participación activa de las personas en materia de seguridad operacional.**

Se propone realizar una publicación semanal en la intranet de la compañía, que permita informar públicamente de los comportamientos seguros que hayan sido significativos, así como de las aportaciones voluntarias a la seguridad de la compañía.

Se intentará dar visibilidad de dichos eventos y de las personas implicadas en ellos, a través de los medios tecnológicos de los que disponga la compañía para publicitarlos, tales como pantallas ubicadas en determinados puntos de la red que estén visibles para todo el personal y que se utilicen para proporcionar información que sea de utilidad para determinados colectivos.

Por otra parte, se propone la realización de un concurso anual, que sea voluntario y que tenga el objetivo de recabar propuestas procedentes de los trabajadores y trabajadoras, orientadas a la mejora de la seguridad operacional en la organización.

Dicho concurso se realizaría por equipos de trabajo de diez personas como máximo, y se compensaría con un premio monetario al equipo ganador, lo suficientemente significativo como para motivar a las personas a participar en el concurso.

La propuesta ganadora sería implementada en la organización para la mejora continua de los estándares de seguridad, dando la correspondiente difusión a la misma y a las personas que la hayan ideado, agradeciendo la colaboración de los trabajadores y trabajadoras de la compañía en materia de seguridad.

Estas actuaciones, pueden mejorar significativamente el compromiso de las personas con la seguridad, fomentando un sentimiento de identidad corporativa y aumentando la confianza con la organización.

**Evaluar periódicamente la cultura de seguridad en la compañía.**

Con el objetivo de garantizar unos resultados positivos en cultura de seguridad, originados como consecuencia de las medidas implementadas, la organización debe controlar y evaluar la cultura de seguridad en la compañía.

Para ello, se plantea un sistema de evaluación que va a constar de tres fases, y se va a realizar de forma anual con los colectivos que son objetivo de esta campaña, por un equipo de personas expertas en materia de Factores Humanos y Organizativos.

En primer lugar, se deben recabar las percepciones y creencias de las personas a través de un cuestionario, que proporcionará a los expertos unas nociones sobre qué aspectos culturales inciden sobre la seguridad operacional.

Posteriormente, el equipo de expertos realizará observaciones en el puesto de trabajo de los distintos colectivos implicados, con el objetivo de confirmar o desmentir las hipótesis planteadas en la primera fase.

Finalmente, para obtener la información cualitativa necesaria que permita confirmar la efectividad de las medidas planteadas o reestructurar las mismas, se realizarán grupos focales con los colectivos implicados en la campaña. Esto permitirá evaluar la organización y los interfaces entre los distintos colectivos afectados.

Un grupo focal, consiste en una entrevista grupal dirigida por un moderador a través de un guion de temas a tratar, buscando la interacción entre los participantes como método para generar información. A través de esta técnica, se obtiene información en profundidad sobre lo que las personas opinan y hacen, explorando el porqué y el cómo de estas opiniones y acciones, obteniéndose principalmente información cualitativa a través de los discursos y conversaciones de los grupos (Prieto y March, 2002).

Para poder abarcar la mayor cantidad de perfiles posibles, se establece una segmentación de los colectivos que son objetivo de la campaña, formándose 10 grupos focales, estableciéndose 2 grupos para cada segmento, para poder comprobar que los resultados que se obtienen en un grupo, se ratifican en el otro grupo del mismo segmento. Las características intergrupos son las siguientes:

- Personas que han ingresado recientemente en la compañía, con menos de un año de experiencia en la misma.
- Personas con aproximadamente 10 años de antigüedad en la compañía.
- Personas con aproximadamente 20 años de antigüedad en la compañía.
- Personas con aproximadamente 30 años de antigüedad en la compañía.
- Personas con aproximadamente 40 años de antigüedad en la compañía.

Para poder obtener una muestra que represente la población de la compañía, en cada grupo se establecerá un número total de 10 personas mediante un procedimiento aleatorio, estableciéndose en el grupo un número de representantes proporcional al número de personas perteneciente a cada colectivo en la compañía, quedando de la siguiente manera las características intragrupos:

- 3 Maquinistas.
- 2 Jefes de Circulación.
- 2 Operadores del Puesto de Mando.
- 1 Mando intermedios del Puesto de Mando.
- 1 Técnico.
- 1 Directivo de la compañía.

De esta forma, se pueden establecer por una parte grupos homogéneos de personas que tienen algo en común, como es en este caso la antigüedad en la compañía, pero por otra parte son heterogéneos, ya que pertenecen a colectivos diferentes. Estas características de los grupos, servirán para fomentar un debate rico en información sobre todos los aspectos de la compañía en materia de seguridad operacional.

Con respecto a la dinámica del grupo, la misma será moderada por una persona experta en Factores Humanos y Organizativos, la cual se encargará de presentar los temas a tratar por el grupo y de fomentar el debate entre cada uno de sus miembros.

Se tendrán en cuenta ciertas directrices durante estas dinámicas grupales, como el hecho de poder hablar de cualquier tema con total libertad, sin sentirse coartados por la jerarquía a la que pertenecen otros miembros, con el compromiso por parte de todos de respetar las opiniones ajenas, y con el objetivo de fomentar un diálogo y una cooperación que permita una correcta evaluación de la cultura de seguridad de la compañía, así como la implementación de medidas que permitan mejorar la misma en el futuro.

Esta evaluación es una gran oportunidad de aprendizaje y, como tal, sus resultados deben ser difundidos por toda la compañía, informando además de las estrategias que se establezcan, para mejorar de forma continua los aspectos relacionados con la cultura de seguridad.

### 3. Conclusiones

El sector ferroviario se encuentra afrontando un significativo desarrollo tecnológico, que está elevando la fiabilidad y seguridad de sus sistemas técnicos hasta umbrales sin precedentes, pero dichos sistemas continúan siendo operados por seres humanos, los cuales en ocasiones deben abordar tareas críticas para la seguridad y son falibles por naturaleza, siendo el error humano el origen de aproximadamente el 80% de los accidentes e incidentes (Gil et al., 2009).

Por este motivo, es de una elevada importancia que las organizaciones que operan en el ámbito ferroviario, consideren el Factor Humano como un elemento más de su sistema, teniendo en cuenta los riesgos derivados de la actuación humana en todo el ciclo de vida del mismo, así como promoviendo la cultura de seguridad entre las personas que forman parte de la organización.

Se puede considerar que la actuación humana tiene tres niveles de funcionamiento, que abarcan las rutinas que requieren poca atención, la resolución de problemas comunes mediante la aplicación de reglas y la resolución de problemas no habituales mediante un proceso analítico (Rasmussen y Jensen, 1974).

Cada uno de estos niveles tiene un tipo de error humano característico asociado, el cual se produce de una forma más o menos consciente dependiendo del nivel en el que se origina.

Esta clasificación, permite analizar cuál es el origen de cada uno de estos errores básicos, que son la base de una clasificación más compleja de las distintas modalidades de fallos humanos, denominada sistema genérico de modelización del error (GEMS), que permite profundizar sobre cuáles son los factores cognitivos que los originan (Reason, 2009).

Sin embargo, a la hora de analizar la aportación humana a los desastres de los sistemas, es importante diferenciar entre los errores activos, que están asociados con el trabajo de los operadores de primera línea, y los errores latentes, los cuales pueden permanecer ocultos en el sistema y están relacionados con aspectos de la organización (Rasmussen y Pedersen, 1984).

Teniendo en cuenta que la sociedad cada vez tiene una menor aceptación de los desastres catastróficos, se ha producido un aumento en los niveles de automatización de los sistemas técnicos con el objetivo de prevenir los mismos.

Pero este aumento de los niveles de automatización tiene algunas consecuencias negativas, como es el hecho de que los errores en la fase de diseño pueden contribuir en los accidentes e incidentes, o el papel marginal que representa el ser humano en el sistema, que es el de supervisar que funcione de una forma adecuada y únicamente intervenir cuando este falla puntualmente, requiriendo esta última tarea una serie de habilidades que no se pueden poner en práctica de forma habitual (Lisane Bainbridge, 1987).

No obstante, las dificultades inherentes a la opacidad que presentan los sistemas automáticos, pueden evitarse realizando un diseño centrado en el ser humano, que le permita conocer cuáles son las operaciones necesarias, explotando sus posibles limitaciones y orientándole a realizar la acción correcta, ya que los errores son una parte inevitable de su vida cotidiana y un buen diseño puede reducir el número y la gravedad de los errores, así como permitirle ser consciente de los mismos después de haberlos cometido, para poder recuperarse a tiempo de ellos (Norman, 1990).

Otro aspecto que se debe tener en cuenta, es que los errores no se cometen por azar, ni de forma aislada, sino que se producen durante múltiples interacciones con otras personas, máquinas, procedimientos o circunstancias del entorno (Gil et al., 2009).

Por este motivo, se debe evaluar también el contexto en el que se producen los errores, teniendo en cuenta la interacción del elemento humano central con el soporte lógico, el soporte físico, el entorno o el elemento humano periférico, tal y como establece el modelo SHELL, para poder obtener los factores que subyacen a dichos errores (Hawkins, 1987).

Esta comprensión de los errores humanos, debe derivar en un aprendizaje organizativo de las causas que originan los accidentes e incidentes que se producen en el sistema, debiendo la organización centrar sus esfuerzos, no solo en los escasos accidentes que originan lesiones serias o graves daños, sino también en las aproximaciones peligrosas que se producen con una mayor frecuencia y permiten llevar un control más efectivo de la seguridad operacional (Madigan et al., 2016).

Para prevenir accidentes y evaluar riesgos, las organizaciones deben anticiparse a cómo pueden fallar las barreras establecidas ante un error humano. Esta actuación, puede permitir que se consideren en primer lugar los posibles fallos del sistema, y, en segundo lugar, los

posibles errores humanos, para establecer unas barreras que mitiguen de forma efectiva el riesgo derivado de dichos errores (Hollnagel, 2009).

Por otra parte, es fundamental que las organizaciones conozcan los riesgos que se encuentran presentes en su sistema, así como las medidas de mitigación o barreras que tienen establecidas, debiendo conocer las funciones o tareas que constituyen los distintos puestos de trabajo que forman parte de la organización, para comprender las exigencias de cada tarea y las competencias que deben poner en juego los operadores para abordarlas (Gil et al., 2009).

Una técnica adecuada que permite conocer estos aspectos, es el Análisis Jerárquico de Tareas, mediante el cual se realiza el listado, la descripción y el análisis exhaustivo de las tareas, de los errores posibles relacionados con las mismas, así como de los modos de recuperación del error en cada uno de los casos (Annette et al., 1971).

No obstante, una de las principales fuentes de información que tienen las organizaciones para identificar los riesgos presentes es la investigación de los accidentes e incidentes, mediante la cual se puede conocer las causas que han originado el suceso a través del análisis de las interacciones entre personas, máquinas, el entorno o la organización, permitiendo evaluar las barreras el error humano que han fallado, para proponer una estrategia preventiva de cara al futuro, que pueda reducir las posibilidades de que se vuelva a producir un suceso similar (Gil et al., 2009).

Sin embargo, la mejor forma de obtener información sobre eventos de riesgo, amenazas para la seguridad, peligros, condiciones inseguras, actos inseguros, errores humanos, transgresiones normativas, errores organizacionales, fallos del sistema, etc., que puede tener una organización, es a través de las personas que forman parte de la misma, animándolas a contribuir al desarrollo de la seguridad en un marco de cultura justa, mediante un sistema de reporte confidencial de riesgos (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2022).

Los objetivos que se han planteado en el presente Trabajo de Fin de Estudio, han sido satisfechos mediante un metódico estudio y análisis de la bibliografía seleccionada para su elaboración, proporcionando un marco teórico y metodológico, que ha permitido abordar una aplicación práctica, basada en dicha fundamentación teórica.

### 3.1. Limitaciones

Las principales limitaciones que han surgido durante la elaboración del presente Trabajo de Fin de Estudio, se han encontrado relacionadas con un déficit observado en la cantidad de autores de referencia y de bibliografía disponible, sobre psicología cognitiva orientada a la seguridad operacional.

Por este motivo, se han utilizado referencias bibliográficas que podrían considerarse antiguas para cimentar la parte más teórica de este trabajo, lo que no quiere decir que sean teorías obsoletas, ya que todas ellas han adquirido una gran relevancia en el ámbito de la seguridad operacional en las últimas décadas y se están aplicando en la actualidad en diversos sectores.

Otra limitación que se ha apreciado, es que se observa una gran cantidad de publicaciones sobre Factores Humanos y Organizativos en el ámbito aeronáutico, energía nuclear, etc., pero esta disciplina ha comenzado a adquirir relevancia en el sector ferroviario recientemente, lo que ha originado que no exista tanta literatura escrita en este ámbito. Por este motivo, se han utilizado algunas publicaciones de otros sectores que son perfectamente aplicables al presente ámbito de estudio.

Finalmente, se han encontrado dificultades a la hora de obtener datos estadísticos a nivel nacional o internacional en explotaciones ferroviarias, relacionados con la investigación de accidentes e incidentes, que aporten una información relevante sobre los Factores Humanos y Organizativos que hayan podido influir en los mismos.

### 3.2. Prospectiva

El sector ferroviario, tiene por delante un largo y prometedor camino que recorrer en el ámbito de los Factores Humanos y Organizativos.

Una de las líneas de actuación futuras que probablemente tome el sector, será la de la mejora de la cultura de seguridad en la organización, ya que esta permite mejorar la seguridad operacional contando con el compromiso de las personas que forman parte de la organización, así como de obtener información relevante sobre situaciones de riesgo a través de las mismas (Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria, 2022).

Por otra parte, una línea de actuación que puede ser interesante para el sector en el futuro, es la de combinar una gestión de la seguridad operacional Safety I con Safety II.

De esta forma, la organización puede actuar de forma reactiva cuando se produzca un accidente o se detecte un riesgo que se clasifique como inaceptable, mitigando las causas y mejorando las barreras que previenen estos sucesos, y, por otra parte, puede anticiparse de forma continua al desarrollo de estos eventos, variando el propósito de la investigación de accidentes hacia comprender cómo las tareas se realizan de una forma segura, como base para explicar por qué motivo ocasionalmente se producen errores humanos, y orientando la evaluación de riesgos hacia comprender cuáles son las condiciones de trabajo, en las cuales la variabilidad del desempeño humano puede tornarse difícil o imposible (EUROCONTROL, 2013).

## Referencias bibliográficas

- Agencia Estatal de Seguridad Ferroviaria. (2022). *Guía para la implementación de la cultura de la seguridad en los SGS. Documento 7: El reporte confidencial de riesgos. Versión 1.* [https://www.seguridadferroviaria.es/recursos\\_aesf/ guia\\_cs\\_en\\_los\\_sqs\\_doc7\\_web.pdf](https://www.seguridadferroviaria.es/recursos_aesf/ guia_cs_en_los_sqs_doc7_web.pdf)
- Anderson, J. (1983). *The Architecture of Cognition*. Harvard University Press. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(86\)90084-6](https://doi.org/10.1016/0004-3702(86)90084-6)
- Annette, J., Duncan, K., Stammers, R. y Grey, M. (1971). *Task Analysis*. HMSO.
- Bainbridge, L. (1987). *The ironies of automation*. New Technology and Human Error, Wiley.
- Bird, F. (1974). *Management Guide to Loss Control*. Institute Press.
- Braut, G.S., Solberg, T. y Njå, O. (2014). Organizational effects of experience from accidents. Learning in the aftermath of the Tretten and Åsta train accidents. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 354-366. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.08.013>
- Comisión de Investigación de Accidentes Ferroviarios. (2013). *Informe final sobre el accidente grave ferroviario nº 0054/2013 ocurrido el día 24.07.2013 en las proximidades de la estación de Santiago de Compostela (A Coruña).* [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/pdf/OADE7F17-84BB-4CBD-9451-C750EDE06170/125127/IF240713200514CIAF.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/pdf/OADE7F17-84BB-4CBD-9451-C750EDE06170/125127/IF240713200514CIAF.pdf)
- Comisión Europea. (2018). Reglamento Delegado (UE) 2018/762 de la Comisión de 8 de marzo de 2018 por el que se establecen métodos comunes de seguridad sobre los requisitos del sistema de gestión de la seguridad de conformidad con la Directiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo, y por el que se derogan los Reglamentos (UE) nº 1158/2010 y (UE) nº 1169/2010 de la Comisión. *Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://www.boe.es/doue/2018/129/L00026-00048.pdf>
- Comisión Europea. (2020). Reglamento de Ejecución (UE) 2020/572 de la Comisión de 24 de abril de 2020 relativo a la estructura de presentación de información a la que deberán atenderse los informes de investigación de accidentes e incidentes ferroviarios. *Diario*

Oficial de la Unión Europea.

[https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/comodin/recursos/2-reg\\_de\\_ejecucion\\_2020-572.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/2-reg_de_ejecucion_2020-572.pdf)

Chapman, L. y Chapman, J. (1967). Genesis of popular but erroneous diagnostic observations. *Journal of Abnormal Psychology*, 72(3), 193-194. <https://doi.org/10.1037/h0024670>

De Soto, C. (1961). The predilection for single orderings. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 62(1), 16-23. <https://doi.org/10.1037/h0041232>

Energy Institute. (2016). *Learning from incidents, accidents and events*. <https://publishing.energyinst.org/topics/human-and-organisational-factors/learning-from-incident/learning-from-incident,-accidents-and-events>

EUROCONTROL. (2013). *From Safety I to Safety II: a white book*. DNM Safety. <https://www.skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2437.pdf>

European Union Agency for Railways. (2018). *The European Railway Safety Culture Declaration*. [https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/The%20European%20Railway%20Safety%20Culture%20Declaration\\_1.pdf](https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/The%20European%20Railway%20Safety%20Culture%20Declaration_1.pdf)

European Union Agency for Railways. (2022). *Safety management system requirements for safety certification or safety authorisation*. Publications Office of the European Union. <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-11/Guide%20on%20safety%20management%20system%20requirements.pdf>

Fraszcyk, A., Brown, P. y Duan, S. (2015). Public Perception of Driverless Trains. *Urban Rail Transit*, 1(2), 78-86. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40864-015-0019-4>

Gil, B., Calvo, P. y García, C. (2009). *Los factores humanos y organizativos en la investigación y prevención de accidentes ferroviarios*. ESM - Instituto de Investigación en Seguridad y Factores Humanos.

Hawkins, F. (1987). *Human factors in flight*. Gower Technical Press.

Holland, J., Holyoak, K., Nisbett, R. y Thagard, P. (1986). *Induction: Processes of Inference, Learning and Discovery*. Cambridge, MIT Press.

Hollnagel, E. (2009). *Barreras y prevención de accidentes*. Editorial Modus Laborandi, S. L.

- Kirwan, B. y Ainsworth, L. (1992). *A Guide to Task Analysis*. Taylor & F.
- Madigan, R., Golightly, D. y Madders, R. (2016). Application of Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) to UK rail safety of the line incidents. *Accident Analysis and Prevention*, 97, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.023>
- McElveen, L. (2019). TSSCP: Advancing a Transit Strategic Safety Culture Paradigm. *Des Plaines*, 64(7), 32-41. [https://aeasseincludes.assp.org/professionalsafety/pastissues/064/07/F3\\_0719.pdf](https://aeasseincludes.assp.org/professionalsafety/pastissues/064/07/F3_0719.pdf)
- Nguyen, T.H.A., Trinckauf, J., Luong, T.A. y Truong, T.T. (2022). Risk Analysis for Train Collisions Using Fault Tree Analysis: Case Study of the Hanoi Urban Mass Rapid Transit. *Urban Rail Transit*, 8(3-4), 246-266. <https://doi.org/10.1007/s40864-022-00181-y>
- Norman, D. y Bobrow, D. (1979). Descriptions: An intermediate stage in memory retrieval. *Cognitive Psychology*, 11(1), 107-123. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(79\)90006-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(79)90006-9)
- Norman, D. (1990). *La psicología de los objetos cotidianos*. Editorial NEREA, S. A.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2016). Directiva (UE) 2016/798 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de mayo de 2016 sobre la seguridad ferroviaria (versión refundida). *Diario Oficial de la Unión Europea*. <https://www.boe.es/doue/2016/138/L00102-00149.pdf>
- Prieto, M. y March, J. (2002). Paso a paso en el diseño de un estudio mediante grupos focales. *Atención Primaria*, 29(6), 366-373. [https://doi.org/10.1016/S0212-6567\(02\)70585-4](https://doi.org/10.1016/S0212-6567(02)70585-4)
- Rasmussen, J. y Jensen, A. (1974). Mental procedures in real-life tasks: A case study of electronic troubleshooting. *Ergonomics*, 17(3), 293-307. <https://doi.org/10.1080/00140137408931355>
- Rasmussen, J. y Pedersen, O. (1984). *Human factors in probabilistic risk analysis and risk management. Operational Safety of Nuclear Power Plants*. International Atomic Energy Agency.
- Reason, J. (1979). *Aspects of Consciousness, (Volume I): Psychological Issues*. Wiley.
- Reason, J. (1993). The Identification of Latent Organizational Failures in Complex Systems. En J.A. Wise, V.D. Hopkin, P. Stager (eds) *Verification and Validation of Complex Systems:*

*Human Factors Issues*. NATO ASI Series, (Vol. 110), (pp. 223-237).

[https://doi.org/10.1007/978-3-662-02933-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-662-02933-6_13)

Reason, J. (2009). *El error humano*. Ed. Modus Laborandi.

Svenson, O. (1991). The accident evolution and barrier function (AEB) model applied to incident analysis in the processing industries. *Risk Analysis*, 11(3), 499-507.

<https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1991.tb00635.x>

Tversky, A. y Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases.

*Science*, 185(4157), 1124-1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>