



Transports Metropolitans  
de Barcelona

# **Factor Humano en Entornos Ferroviarios**

## **Ergonomía Fail Safe**

**Octubre 2016**

**Metro Barcelona**



**Quienes Somos**



**Sistema de Seguridad de FMB**



**Modos degradados**



**Factor Humano**



**Construyendo consignas seguras**



**Lecciones Aprendidas**



**El futuro**



**Conclusiones**

# Quienes somos



Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

	2008	2016
<b>Total viajes</b>	376 M	385 M*
<b>Número líneas</b>	6	10
<b>Kilómetros</b>	88,4	122,3
<b>Estaciones</b>	123	156
<b>Número trenes</b>	156	168
<b>Trenes hora punta</b>	123	143
<b>Plantilla</b>	3.491	3.555*

\* Datos 2015

# Sistema de Seguridad de FMB



Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

## Año 2008: Creación del SGS

El Departamento de Gestión de Seguridad Ferroviaria en FMB tiene las siguientes funciones asignadas:

- ✚ GESTIÓN DE RIESGOS
- ✚ CAPACITACIÓN - HABILITACIÓN
- ✚ AUDITORÍAS - INSPECCIONES
- ✚ INVESTIGACIÓN SAFETY EVENTS
- ✚ COMUNICACIÓN - DIFUSION

## SISTEMA TANGIBLE



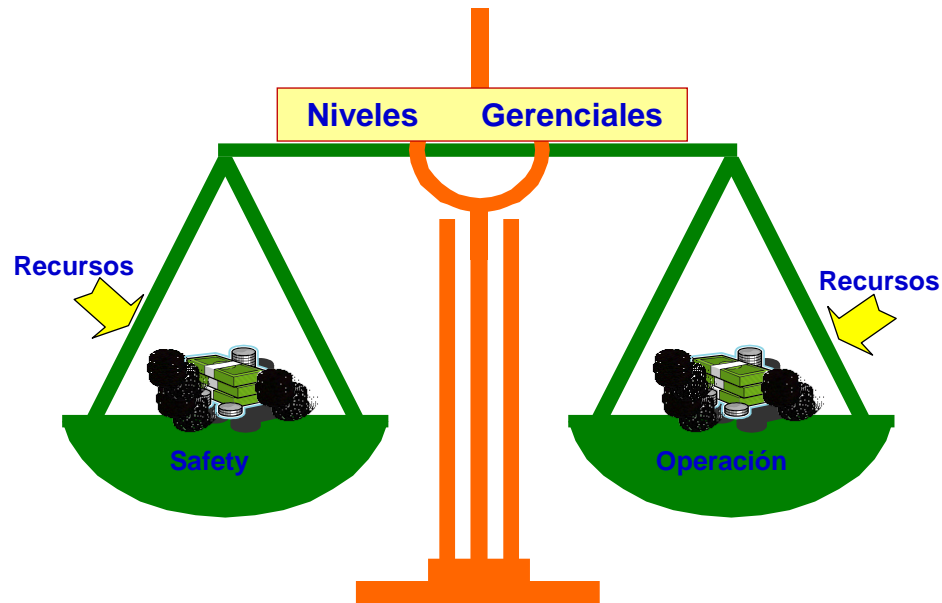
**“ Si no puedes medir algo, no puedes entenderlo. Si no puedes entenderlo, no puede controlarlo. Si no puedes controlarlo, no puedes mejorarlo ”**

## OPERADOR SEGURO

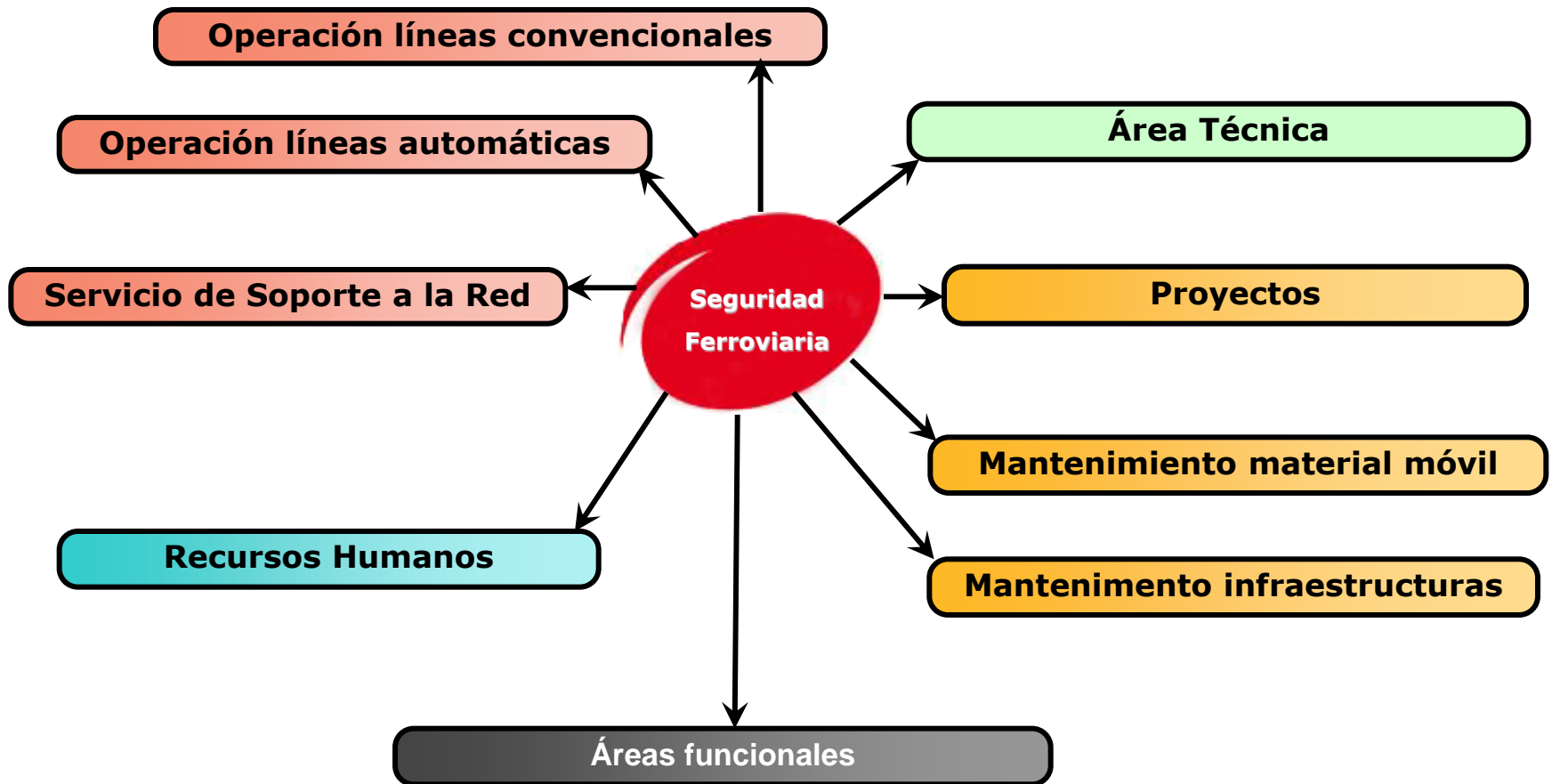


**“ Ausencia de riesgos no deseados ” en la actividad del Sistema Operacional.**

## SEGURIDAD SOSTENIBLE

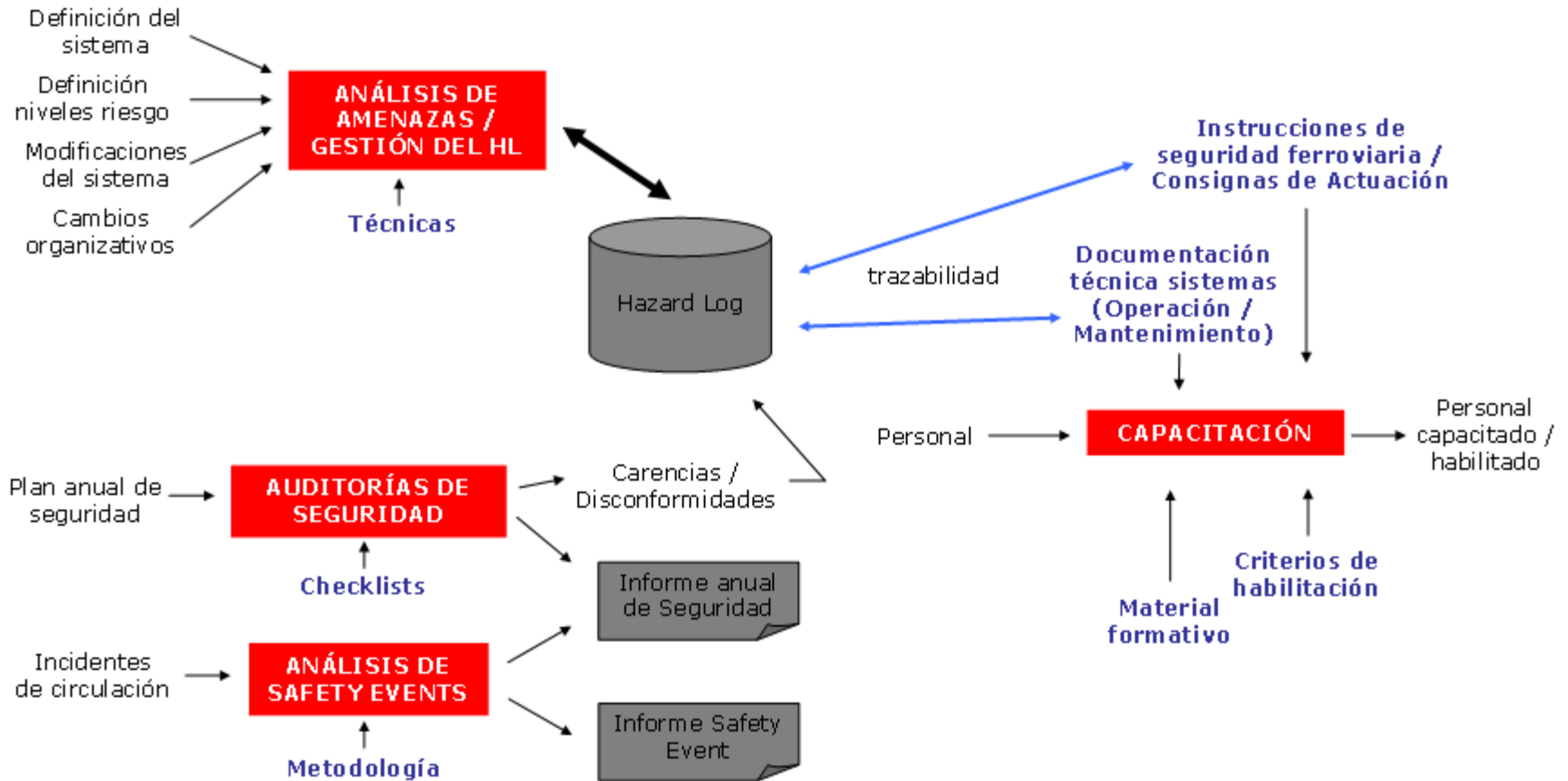


## Implicación de la Organización en Seguridad Ferroviaria:





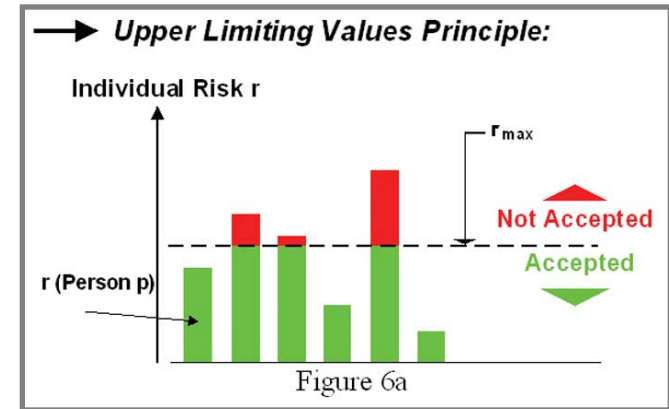
- ❖ **Aproximación *bottom-up*:** construcción del sistema manteniendo las buenas prácticas ya implantadas en la organización.
- ❖ **Aproximación *top-down*:** definir el sistema a partir de una política de seguridad con el soporte de la dirección.



Comunicación / Divulgación del Cambio en la Cultura de Seguridad

## Tasa Tolerable de Fallos contra la Seguridad (Tolerable Hazard Rate - THR):

“Tasa de fallos que garantiza que el riesgo resultante cumple con los objetivos de los riesgos individuales”



Tolerable Hazard Rate THR per hour and per function	Safety Integrity Level
$10^{-9} \leq THR < 10^{-8}$	4
$10^{-8} \leq THR < 10^{-7}$	3
$10^{-7} \leq THR < 10^{-6}$	2
$10^{-6} \leq THR < 10^{-5}$	1

Si desea evitar	el SIL debe ser
Daños menores a la propiedad y a la producción con muy bajo riesgo para las personas	1
Daños mayores a la propiedad, a la producción, y lesiones graves al personal, probables muertes	2
Serios perjuicios al personal, muertes, grandes destrozos	3
Impacto catastrófico en la comunidad, muertes, grave impacto ambiental	4

## Nivel de Integridad de Seguridad (Safety Integrity Level) SIL:

“Uno de los diversos niveles discretos definidos para especificar los requisitos de integridad de la seguridad de las funciones de éstos que se asignan a los sistemas relacionados con la seguridad”

## Fallo Seguro (Fail-Safe)

“Propiedad de un dispositivo de pasar a un estado de seguridad en caso de fallo de este dispositivo”

Frecuencia		Nivel de Gravedad		NIVELES DE RIESGO				
Frecuente	Catastrófico	Frecuente	No deseable	Intolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable	
Probable		Probable	Tolerable	No deseable	Intolerable	Intolerable		
Ocasional	Crítico	Ocasional	Tolerable	No deseable	No deseable	Intolerable		
Remoto		Remoto	Menospreciable	Tolerable	No deseable	No deseable		
Improbable	Marginal	Improbable	Menospreciable	Menospreciable	Tolerable	Tolerable		
Increíble		Increíble	Menospreciable	Menospreciable	Menospreciable	Menospreciable		
	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Marginal	Crítico	Catastrófico		
				NIVELES DE GRAVEDAD DE LOS PELIGROS				

Criterios de aceptación de riesgos

### ALARP (UK)

Tan bajo como razonablemente factible  
(As Low As Reasonably Practicable)

### GAMAB/GAME (FRANCIA)

Globalmente al menos tan bueno  
(Globalement Au Moins Aussi Bon)

## •Tipología de accidentes



•Situaciones de peligro que pueden desembocar en un accidente



•Amenazas



•Requisitos de seguridad:

- Funcionales
- Integridad



•Nominal



•Degradado

Fallos cuantificables: HR

Fallos no cuantificables: SIL

Fallos cuantificables: HR

Fallos no cuantificables:  
Norma LARO



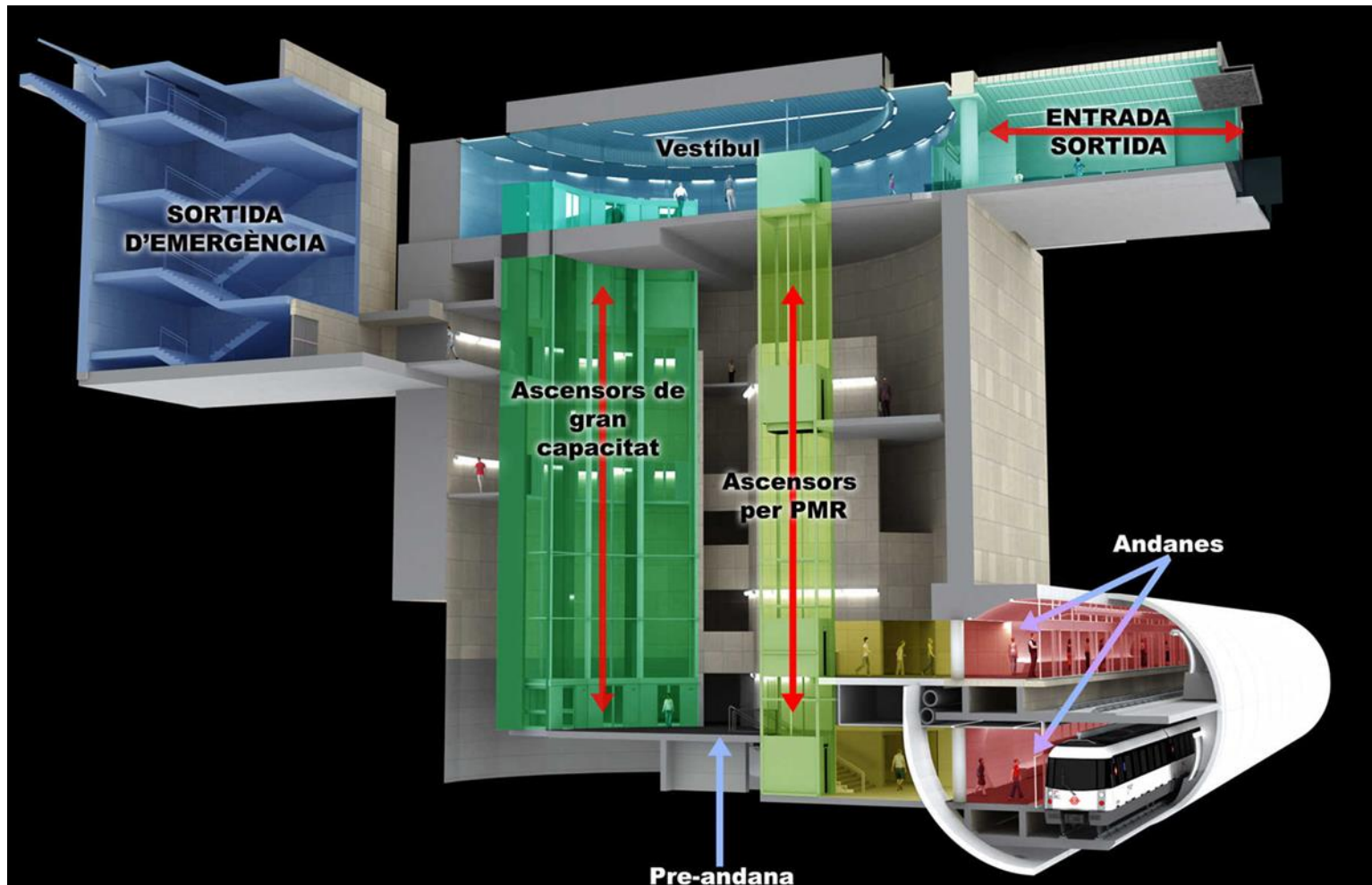


# Modos Degradados

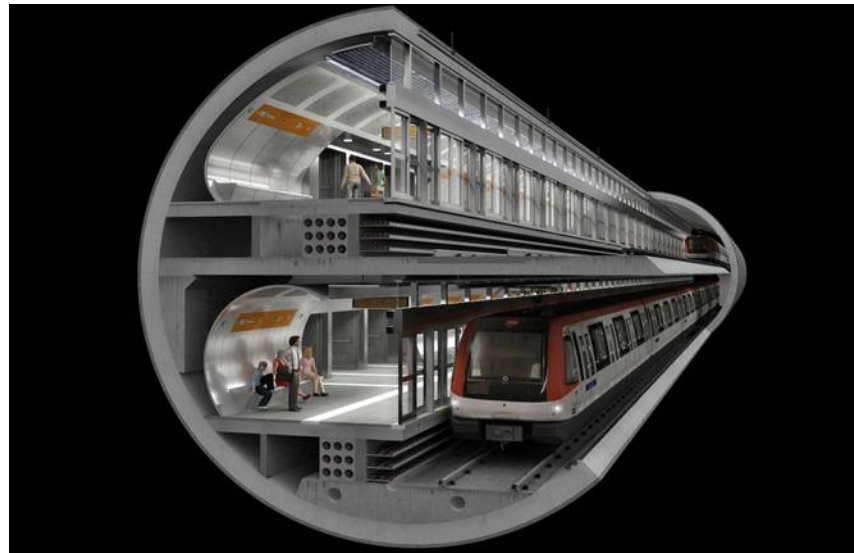


Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

# Modos Degradados



# Modos Degradados



## •Nominal

## •Degradado

- Medidas mitigadoras



Solución técnica

Factor humano



Solución técnica

Factor humano

## DICOTOMIA:

**En modos degradados, la seguridad recae sobre el FH**

**La mayor amenaza de la Seguridad Ferroviaria es el FH**

## CONCLUSIÓN:

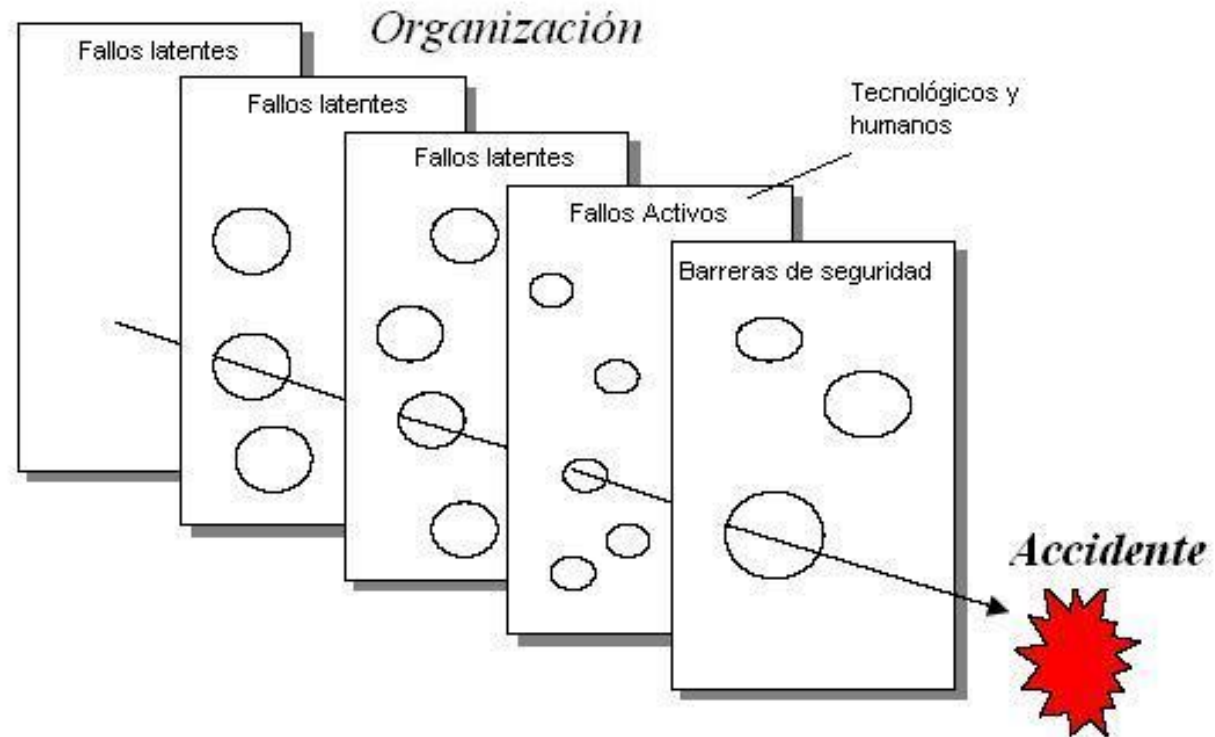
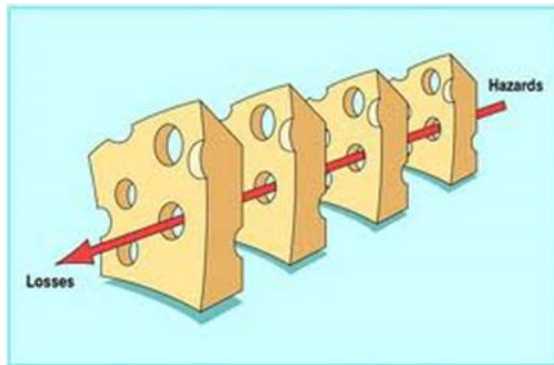
**El error humano es  
INEVITABLE e IMPREDECIBLE**



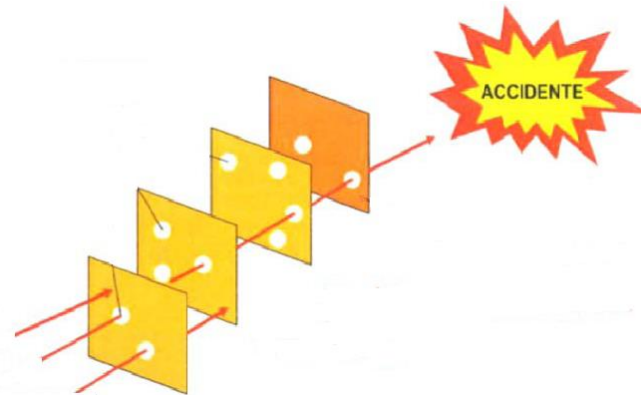
## TEORIA CONOCIDA

*pocas veces los accidentes ocurren debido a un único suceso*

### • Reason



- ✚ El 85% de los accidentes son el resultado de un fallo sistémico.
- ✚ Accidentes graves raramente están causados por un gran error o una persona única, sino que son el resultado de una serie de mini-incidentes causados por una compleja interacción de errores latentes y acciones específicas.



- ✚ Culpabilizar a las personas por sus errores no reduce el % de accidentes.

**¿CÓMO SE COMPORTAN LAS ORGANIZACIONES CON EL FACTOR HUMANO FRENTE A UN INCIDENTE/ACCIDENTE?**



# Factor Humano



Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

## NUESTRO ADN



TIPOLOGIA DE ACCIDENTES

SITUACIONES DE PELIGRO

AMENAZAS (1er NIVEL)

FAIL SAFE

**REQUISITOS DE SEURETAT (R.S.):**

- \* REQUISITOS FUNCIONALES
- \* REQUISITOS INTEGRIDAD SEGURIDAD

**DEFINICIÓN DE DEGRADADO**

De forma controlada, mantener la operación con una pérdida de fiabilidad y/o disponibilidad de un subsistema, eludiendo los R.S. de dicho subsistema y de otros afectados para seguir ofreciendo el servicio comercial.

**NOMINAL**  
(PROVEEDOR / OPERACIÓN)

FUNCIONAL

THR

VERIFICACIÓN & VALIDACIÓN

HR SIL

Solución Técnica

Factor Humano



**DEGRADADO**  
(OPERACIÓN)

AMENAZAS  
(2º NIVEL)

REQUISITOS OPERACIONALES

CONSIGNA DE ACTUACIÓN

Solución Técnica



**ANÁLISIS SISTEMÁTICO POR SUBSISTEMAS**

- \* Brainstorming
- \* FMEA
- \* HAZOP
- \* ETA
- \* Análisis de interfaz

Clasificación por Escenarios (Factor Común)



P.E.H

BARRERAS

Factor Humano

- SUBSISTEMAS:**
- \* Tren / ATP
  - \* Señalización
  - \* Vía
  - \* TPA
  - \* Operación
  - \* Mantenimiento

## **FACTORES HUMANOS**

- Porqué las personas cometen errores en sistemas técnicos.

## **INVESTIGACIÓN SOBRE FACTORES HUMANOS**

- Interacción entre el ser humano y el sistema

**F. TÉCNICO + F. HUMANO + F. ORGANIZACIONAL**

- **Trabajo desarrollado por TMB, en materia de Fiabilidad Humana persiguiendo los siguientes objetivos.**

- ✚ Mejora en los procesos relacionados con las auditorías de seguridad.
- ✚ Mejora en el diseño de barreras preventivas frente a riesgos y situaciones de peligro.
- ✚ Mejora en los diseños de los aspectos de formación relacionados con la gestión de riesgos.
- ✚ Mejora de los procesos de investigación de incidentes relacionados con la seguridad ferroviaria.

Los tipos de errores humanos responden a tres grandes familias:

**Errores producidos por acciones**  
(selección, secuencia, temporal, ...)

**Errores producidos por omisiones**  
(omisión de un paso en una acción determinada).

**Errores cognitivos**

Factores de Incidencia al Desempeño = FID contribuyen a aumentar las probabilidades de error humano en operaciones críticas de seguridad

Estrés

Fatiga

Nivel de ruido

Temperatura

Ergonomía del puesto de trabajo y de las herramientas

Estrés

Tareas repetitivas

Formació

Experiencia

FID en FMB  
=17

Para utilizar la información cuantitativa contrastada para determinar la fiabilidad humana dentro de la Seguridad Operacional de FMB, se aplican técnicas particularizadas a cada caso.

**Juicio de Expertos**

**HAZOP**

**HAZIP**

**FMECA**

**Recogida en la norma NTP401 y complementada con las normas NTP360 y NTP377**

- La mayoría de errores son resultados de una compleja interacción entre errores latentes y acciones específicas.
- El ser humano/ equipo tiene demasiado confianza en el sistema y en si mismo.
- Los profesionales cometerán errores en sistemas imperfectos.

**FALLO HUMANO EN FMB = 1**  
**PROBABLIDAD DE FALLO HUMANOS EN FMB = 100%**



# Construyendo Consignas Seguras



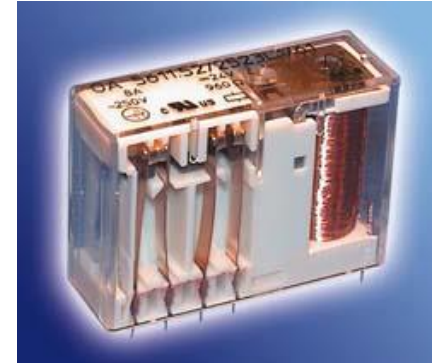
Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

## Fallo Seguro (*Fail-Safe*):

“Propiedad de un dispositivo de pasar a un estado de seguridad en caso de fallo de este dispositivo”



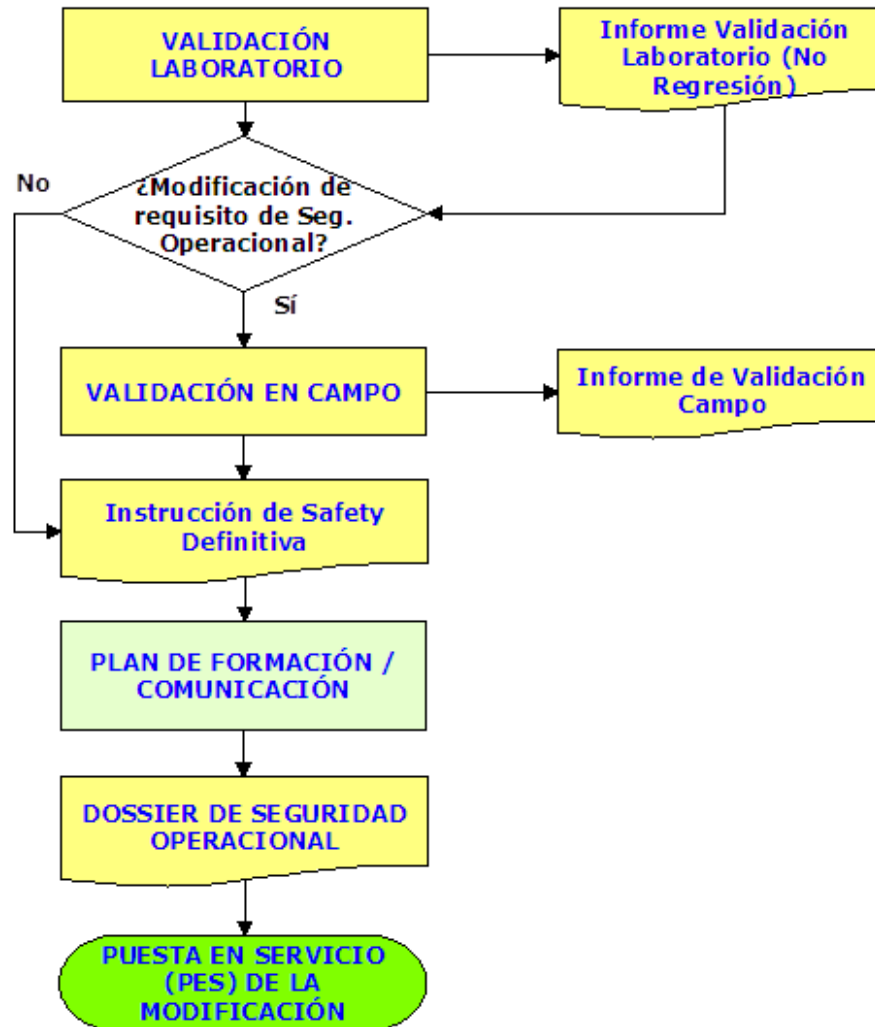
ATP/ATO: complejo sistema de control



Relé de seguridad (guía forzada)



# Construyendo Consignas Seguras



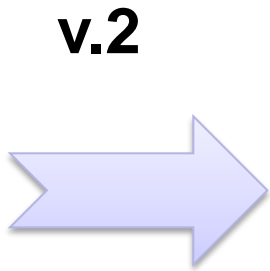
PLAN DE FORMACIÓN REQUERIDO	
SIL	TIEMPOS
1	INICIAL y Refresco 12 y 24 meses (teoría)
2	INICIAL y Refresco 12 y 24 meses (teoría y práctica)
3	INICIAL y Refresco 6 y 12 meses (teoría y práctica)
4	INICIAL y Refresco 6 y 12 meses (teoría y práctica)

RESPONSABLES DE ACTIVACIÓN		
SIL	APLICACIÓN ESPONTÁNEA	APLICACIÓN PROGRAMADA
1	SUPERVISOR	GERENCIA AFECTADA
2	SUPERVISOR	GERENCIA AFECTADA
3	SUPERVISOR	RESPONSABLE SEGURIDAD FERROVIARIA
4	SUPERVISOR	DIRECTOR DE FCMB

TEMPORALIDAD DE LA ACTIVIDAD		
SIL	TIEMPOS MÁXIMOS DE APLICACIÓN (min.)	TIEMPOS DE INTERRUPTIÓN (min.)
1	90	Entre 5 i 10
2	75	Entre 5 i 10
3	60	Entre 10 i 15
4	45	Entre 10 i 15

CA8_23 TREN PARADO EN TUNEL CON ALARMA DE PUERTA DE TREN ABIERTA						
PASO	ACCIÓN	Doc.	PCC			LINEA Agente Oper.
			CLA	ATS	EST.	
1	<b>Detecta alarma y localiza el tren averiado</b> 1) Aplica STOP e informa al CLA. 2) <b>Securiza</b> la zona del tren afectado, incluyendo la vía contraria si es accesible a pie desde el tren (rampas, vías doble, etc.). # En caso necesario, autoriza al operador del M. Móvil o ATS enviar un telemando de cierre de puerta EED. 3) Visualiza el vídeo del tren y la grabación del evento, para detectar posible intrusión en vías. # Solicita la emisión de mensajes al pasaje del tren informando de lo ocurrido y de la utilización indebida del desbloqueo de sus puertas. # Enciende luces del túnel. Comprueba las alarmas del Sistema de Control de Accesos para detectar una posible intrusión en túnel. 4) Si procede, autoriza el movimiento de aquellos trenes detenidos en el túnel. # Localiza y envía Agentes a los andenes colaterales para observar la vía en previsión de que haya habido una intrusión.	CA8_83		X		
			X			
		X		X		
		X			X	
2	<b>Tren en túnel sin personal embarcado</b> 1) Gestiona la intervención de un Agente al tren afectado, informándole de la incidencia y su ubicación. 2) <b>Acceso a pie a la zona CBTC.</b> 3) <b>Acceso al tren desde la vía.</b>	CA8_75 CA8_72		X		X
	<b>Tren en túnel con personal embarcado</b> 1) En caso de abertura de una puerta frontal de evacuación, autoriza una <b>evacuación de tren por emergencia.</b> 2) <b>Tren con puerta abierta:</b> distribuye el pasaje por el resto de coches, pregunta a los pasajeros si ha habido personas que han abandonado el tren, normaliza la puerta afectada e informa al PCC. # <b>Tren con puerta cerrada y alarma activa,</b> solicita al PCC autorización para anular lazo de puertas y conducir en ATPM hasta la estación para desalojar. 3) Establece feed-back con el Agente del tren para confirmación e informa al CLA.	CA8_82	X			X
				X		X
					X	
3	<b>En caso de puerta abierta</b> 1) Determina el tipo de reconocimiento de vía, según: * Visualización del vídeo (grabación de eventos). * Declaración de los testigos presenciales. * Alarmas del Control de Accesos en la zona afectada. # En caso de imposibilidad de visualizar la grabación del evento, la declaración de los testigos ha de ser categórica para realizar el reconocimiento desde el tren.	CA8_71	X			
	<b>En caso de puerta cerrada y alarma activa</b> 1) Autoriza la <b>retirada de la securización.</b>	CA8_83	X			
<b>SIL 4</b>	<b>Tiempo máximo de aplicación por persona: 45 min.</b> <b>Tiempo de interrupción por persona entre: 10 y 15 min.</b>					

CA9_26 CONDUCCIÓN MANUAL DE UN TREN NO CBTC (ATPR o BYPASS)		Doc.	PCC			LINEA Agente Oper.
PASO	ACCIÓN		CLA	ATS	EST.	
1	Condiciones previas		X			
	1) Los trenes NO CBTC no pueden circular cuando hay trenes CBTC circulando. Un tren NO CBTC circula en la zona CBTC sólo cuando los trenes CBTC que le rodean (anterior y posterior) están parados en lugar seguro.		X			
	# Solicita al CLA autorización para permitir un modo de conducción degradado (ATPR o Bypass) a un Agente.			X		
2	2) Solicita a los operadores del PCC atención especial al movimiento del tren NO CBTC.		X			
	3) Informa al Agente del tren NO CBTC de las restricciones de movimiento existentes, del sentido de la marcha y lugar de retiro (establece feed-back).			X		
	Asegurar ubicación del Agente en la testera correcta					
3	1) Se sitúa en la testera según el sentido de la marcha y comunica al PCC el número del coche en el que se encuentra para habilitar el pupitre de conducción.					X
	2) Confirma la correcta ubicación (establece Feed-Back).			X		
	3) Habilita el pupitre de conducción, inmoviliza el tren hasta que el PCC le dé autorización para iniciar la marcha y solicita autorización para seleccionar modo de conducción.					X
4	Garantizar vía libre al tren NO CBTC					
	1) Protege tren NO CBTC con RAZ ATP en el CdV detrás del mismo. Si el tren NO CBTC está parado entre la entrada de un andén y un tramo de intersección, la RAZ ATP se establece en el CdV del tramo intersección.			X		
	2) Regula la circulación de trenes CBTC para dejar vía libre al tren NO CBTC hasta su andén de destino.			X		
	3) Comprueba en el ATS que el tramo intersección y andén hacia el que se dirige el tren NO CBTC, ni hay ni habrá tráfico, y establece RAZ ATP en su andén de destino.			X		
	# Según el tramo, también establece RAZ ATP en el ramal contrario en un tramo convergente.			X		
4) Establece itinerario de destino e informa al CLA.			X			
5	Controlar el movimiento del tren NO CBTC					
	1) Si procede, autoriza el modo de conducción y el movimiento del tren NO CBTC.		X			
	2) Autoriza al Agente del tren NO CBTC el modo de conducción y el inicio de la marcha hasta la entrada (sin rebasarla) de su andén de destino.			X		
	3) Establece el feed-back de dicha autorización.					X
	4) Conduce el tren con velocidad "marcha a la vista", comprueba la señalización lateral, la posición de las agujas y detiene el tren si la vía no está expedita, informando al PCC.					X
	5) Detiene el tren en el lugar indicado (entrada del andén de destino, sin rebasarla) e informa al PCC, esperando una nueva autorización para iniciar la marcha.					X
6) Garantiza la vía libre al tren NO CBTC (Paso 3), estableciendo primero la nueva RAZ ATP y, después, retirando la anterior (acción 1 y acción 3).			X			
6	En caso necesario detiene el tren afectado mediante:					
	1) Aviso por radio de detención urgente al Agente tren.			X		
	# Solicitud de parada inmediata tren al operador de M. Móvil.		X			
	# Solicitud de corte de tensión de tracción por emergencia.		X	X		



CONSIGNA D'ACTUACIÓ\_19002

Accions del lloc: **OLA**

---

21
CONDUCCIÓ EN MODE NO CBTC
21

- **Inici**
  - 1.- Confirmar situació de l'Agent de tren a la testera correcta.
  - 2.- Sol·licitar a l'Agent el desplegament del pupitre de conducció.
  
- **Desenvolupament**
  - 1.- En cas de haver-hi tren CBTC al davant, **crear una cantó de bloqueig** activant una RAZ ATP al darrera d'aquest.
  - 2.- **Establir itinerari** corresponent i **bloquejar les agulles** que formin part d'aquest.
  - 3.- **AMB AUTORIZACIÓ DEL CLA**, autoritzar el mode de conducció NO CBTC i el moviment del tren dins del cantó.
  - 4.- **Supervisar la circulació del tren NO CBTC**. En cas necessari, detenir la marxa del tren.
  - 5.- En cas necessari, **desplaçar el cantó de bloqueig** (seguint sempre les premisses establertes en els passos anteriors d'aquest apartat) que protegeix la circulació del tren NO CBTC .
  
- **Normalització**
  - 1.- Retirar el tren o recuperar un mode de conducció CBTC.

**SILO 4**      Temps màxim d'aplicació per persona: **45 min.**  
 Temps d'interrupció per persona entre: **10 i 15 min.**

# Lecciones Aprendidas

(Casos prácticos y resultados)



Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

## Evolución rebases No Autorizados

Año	Rebases no autorizados	Señales recorridas	Señales por rebase
2009	177		
2010	112		
2011	81		
2012	89		
2013	75	62.088.753	827.850
2014	49	61.286.420	1.250.743
2015	48	60.630.795	1.263.141






# LA SEGURIDAD QUE COLABORA

## Caso práctico: comunicación segura

**MIS PROBLEMAS DE HOY YA HAN SIDO  
SOLUCIONADOS POR OTROS AYER**






Transports Metropolitans de Barcelona




PROYECTO: SISTEMA DE GESTIÓN DE SEGURIDAD (SGS)



## MANUAL DE COMUNICACIONES (SAFECOM)

(31 páginas)




DADES DOCUMENT							
Codi Doc.	SGS.SAFCOM	Versió	8.0	Revisió	0	Tipus Doc.	DOCUMENT
Estat	Definitiu	Data Lliurament		28/09/12			
Emissor	DEPARTAMENT DE GESTIÓ DE SEURETAT FERROVIÀRIA (DGSF)						
Distribució	TMB						

Ferrocarril Metropolità de Barcelona, SA (TMB)  
Pg Fabra i Puig, 286 - 08031 BARCELONA - Tel.: 932148194 - 932148014 - Fax: 93 214 5767 - [www.tmb.cat](http://www.tmb.cat)

**OBJETIVO:** describir las formas de comunicación entre los agentes que intervienen en el ámbito de la Explotación (Operación y Mantenimiento) dentro de la Red de Metro

**ALCANCE:** todas las actuaciones que necesiten la utilización de cualquiera de los canales de comunicación de FMB

Por ejemplo:

- Situaciones de emergencia
- Incidencias y situaciones en servicio degradado
- Anomalías y comunicaciones del servicio
- Otras comunicaciones que no afecten al servicio

Este Manual **mejora y normaliza** la comunicación del personal que interviene en el ámbito de la seguridad de la Explotación en la Red de Metro

Establece una **comunicación inequívoca** entre las personas y como consecuencia se progresa en la seguridad de la circulación Además de mejorar la calidad del servicio y **optimizar medios** y recursos de comunicación.

Este documento, en su primera versión fue revisado y validado por:

- Centro de Control de Tránsito aéreo de Barcelona
- Centro Regional de Salvamento Marítimo de Barcelona
- Cuerpo de Policia Portuaria
- Servicio de Prevención, extinción de incendios y salvamento de Barcelona
- Cuerpo de Bomberos del Departamento de Protección Civil de Badalona

Durante 2012 se ha actualizado la versión vigente del procedimiento

## Ámbito de comunicaciones

Esquema de comunicaciones  
Complejidad de las comunicaciones  
Funcionalidad de los medios de comunicación  
Medios de comunicación de registro con CCM  
Generalidades en las técnicas de transmisión oral  
Tipología i estructura de la comunicación

## Personal involucrado en las comunicaciones

Niveles de prioridad en las comunicaciones  
Priorización en la atención a las comunicaciones  
Aspectos relativos a las llamadas  
Correcciones y repeticiones  
Llamadas de emergencia

## Cuadro de procedimiento de llamadas y Fraseología

Fraseología y palabras tipo, letrear cifras y palabras  
Convenio fonético para comunicaciones por radio  
Catálogo de situaciones, situaciones de emergencia  
Incidencias y situaciones en servicio degradado  
Situación del servicio y de gestión

## **LA SEGURIDAD QUE NO SE CONFORMA**

**Caso práctico: I+D APS Nuclear**

## NO TE CONFORMES Y PIENSA DIFERENTE



Necesidad de pasar de los métodos reactivos de evaluación de la seguridad a los métodos proactivos en los **SISTEMAS TECNOLÓGICOS**

**F. TÉCNICO + F. HUMANO + F. ORGANIZACIONAL**

<b>Métodos Reactivos (o retrospectivos)</b>	<b>Métodos Proactivos</b>
<i>Aprender de los errores pasados es necesario pero tiene limitaciones</i>	<i>Conocer los mayores contribuyentes al riesgo permite adelantarse y priorizar las estrategias de seguridad para reducir la probabilidad de accidentes</i>

**(APS)** Es un método de análisis exhaustivo, estructurado, sistemático y lógico dirigido a identificar y evaluar los riesgos de los sistemas tecnológicos con el propósito de mejorar su seguridad y desempeño.

**EJEMPLO DE APLICACIÓN  
CAPACIDAD de I + D:**

**TRANSFERENCIA SECTOR NUCLEAR**



EEUU, 1975. Estudio WASH 1400.

EEUU, 1979. Accidente Nuclear de la CN de TMI. Inicio de la aplicación masiva del APS.

1990. Consolidación de la metodología.



Actualmente aplicado a la inmensa mayoría de las CN (algunos países como requerimiento regulado por ley).

Múltiples aplicaciones del APS como apoyo a la toma de decisiones basadas predictivas: gestión del riesgo, modificaciones (técnicas, operativas,...) optimización del mantenimiento...

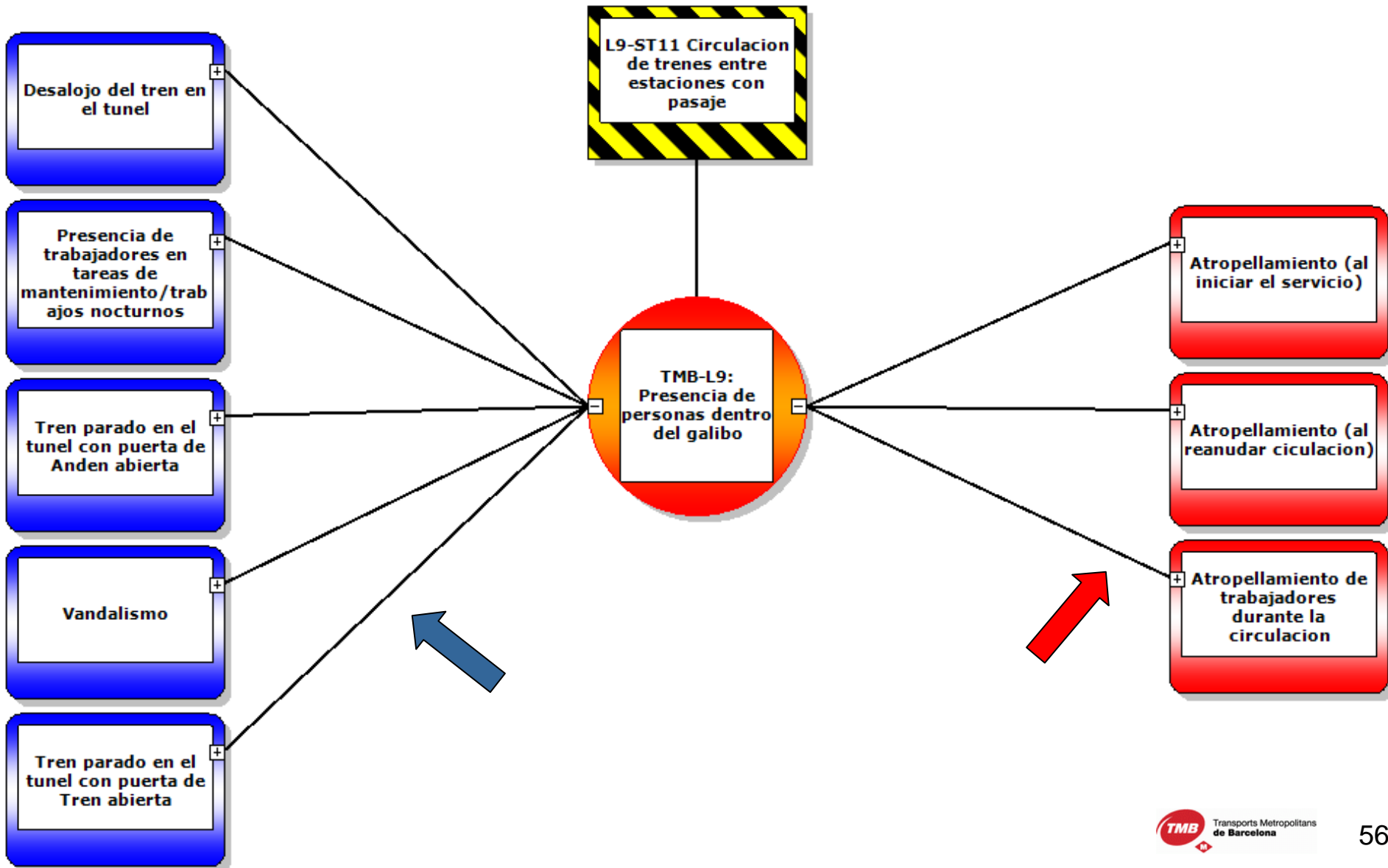
Combina herramientas cualitativas y cuantitativas para evaluar la seguridad.

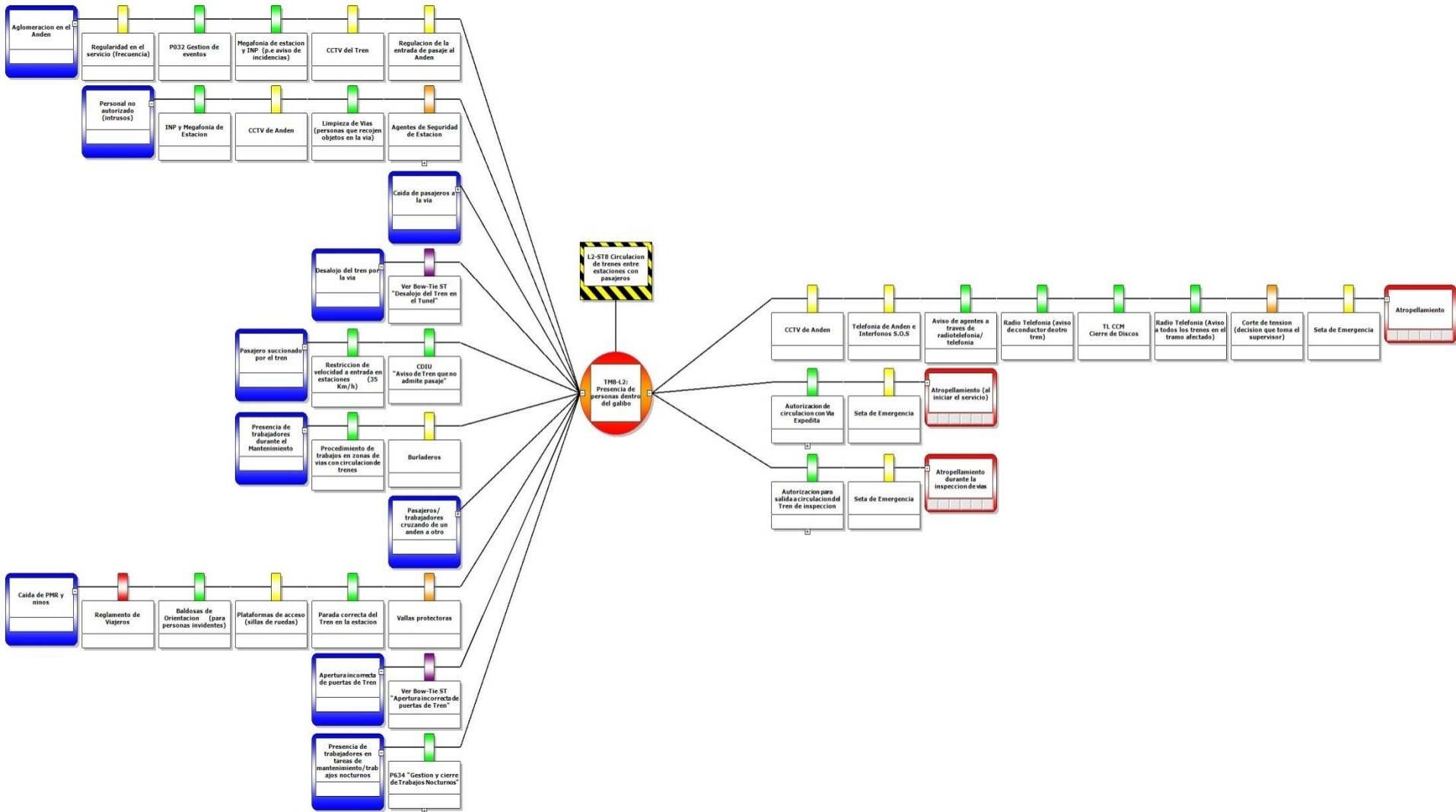
Se basa en el enfoque ¿Qué podría pasar?, ¿Con qué consecuencias? ¿Con qué frecuencia? ¿Son suficientes las barreras?

Cuestiona el diseño y la operación , buscando fallos **no pensados**

**Combina el impacto de los fallos de equipos, errores humanos y procedimientos de operación.**

Su mayor fortaleza: la determinación de los conjuntos mínimos de fallo y los mayores contribuyentes al riesgo.





## Resumen de análisis y trabajo realizado en FMB

	Línea Automática	Línea Convencional
Sucesos Iniciadores de Accidente considerados	<b>27</b>	<b>39</b>
Barreras de seguridad identificadas	<b>62</b>	<b>42</b>
Diagramas de Bow Tie construidos	<b>27</b>	<b>39</b>
Diagramas de Árboles de Sucesos construidos	<b>63</b>	<b>68</b>
Causas de Iniciadores Analizadas (amenazas)	<b>134</b>	<b>111</b>
Combinaciones Mínimas de Fallo determinadas y bajo análisis (minimal cut set)	<b>437</b>	<b>465</b>

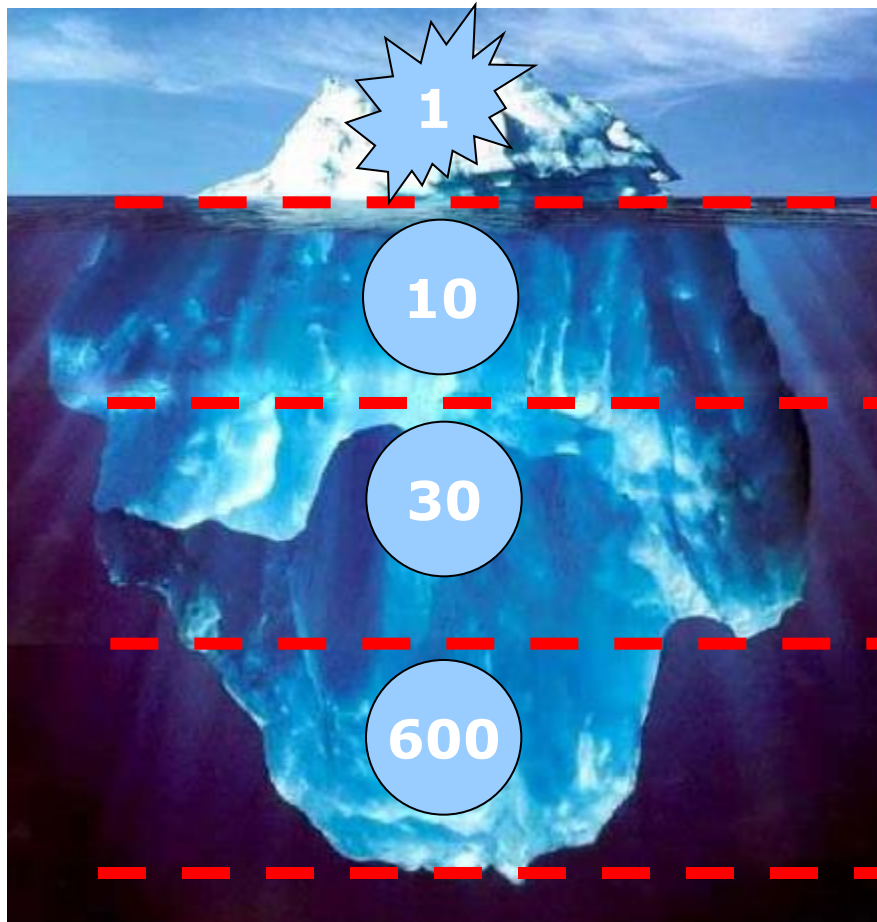
## NO HAY ERRORES, SÓLO LECCIONES

(B. Franklin))



## Cantidad de incidentes

## Nivel de Gravedad



Accidentes, con daños a personas / infraestructuras

Accidentes, sin lesiones ni consecuencias graves

Incidentes en la circulación de trenes (situaciones de peligro)

Actos inseguros (condiciones latentes)

## INVESTIGACIÓN METODOLÓGICA

### OBJETIVO:

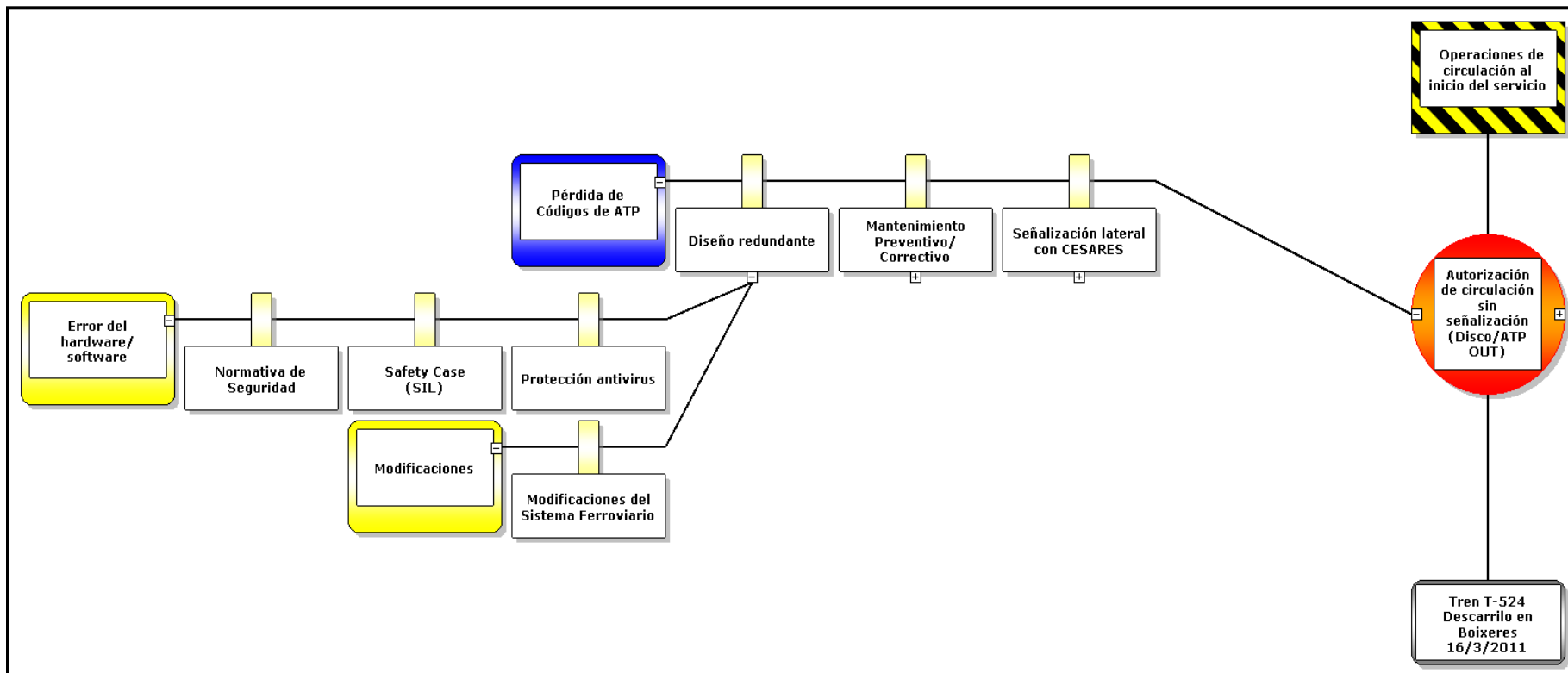
Establecer Conclusiones deterministas para la ayuda a a la toma de decisiones para la mejora de la Seguridad Integral

### ¿CÓMO?

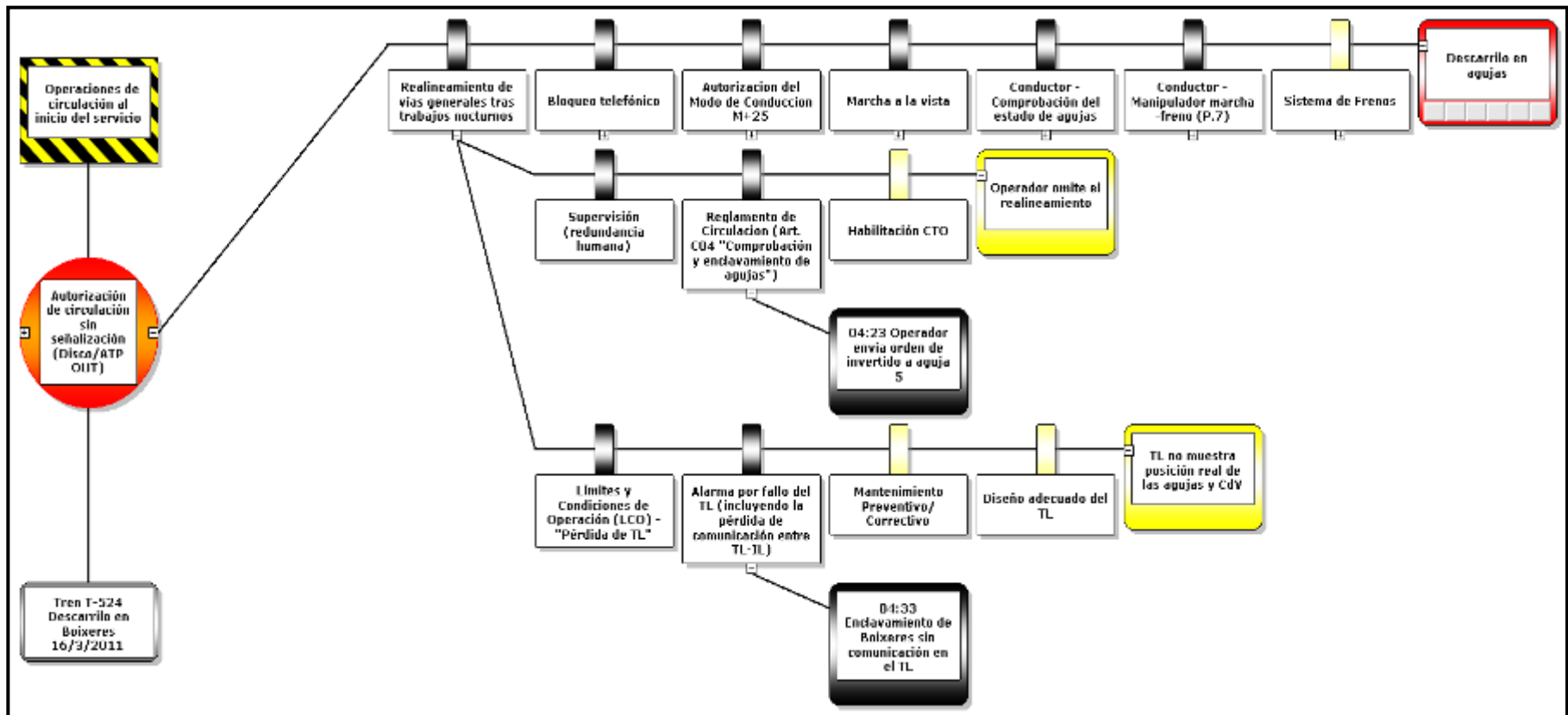
Identificando las causas **LATENTES**

EXPEDIENTE DE SAFETY EVENT	
RESOLUCIÓN	
Ref.: 110316_LS	
IDENTIFICACIÓN DEL SAFETY EVENT	
Título Incidente	Descarrilo del Tren 524 (tren de personal, sin pasaje) en Can Boixeres
Fecha Incidente	16-03-11 Hora Incidente 4:49 Línea Afectada LS
Estación Afectada	S12 Can Boixeres Via General V1
Nº Tren Afectado	524 Composición 5069-R16-5072 (5069)
Conductor del Tren	4854 - Abizanda Operador del CCH 5284 - Ribera
Cho de Línea Conv./Aut. CCH	Supervisor del CCH 5348 - Eteban
De acuerdo con el R.D. 816/2007 del 22 de junio, en su Título III, artículo 21.6: La investigación de los accidentes ferroviarios tendrá como finalidad determinar las causas de los mismos y las circunstancias en que se produjeron, con objeto de prevenirlos en el futuro, y formular las recomendaciones oportunas para reducir los riesgos en el transporte ferroviario. Dicha investigación no se ocupará, en ningún caso, de la determinación de la culpa o responsabilidad y será independiente de cualquier investigación judicial.	
<b>RESUMEN</b>	
El día 16 de marzo de 2011, a las 4:49, con el andamiaje de Can Boixeres sin comunicaciones, el Tren 524 (serie 5.000) con personal de primera hora y sin pasaje, a su paso por la estación de Can Boixeres descarrila en la aguja número 5 (Vía 1), debido a que ésta no estaba posicionada (aguja en inversión) de acuerdo al itinerario que llevaba dicho tren. Como consecuencia del descarrilo, dicho tren colisiona con el bastión de vía 2, sin consecuencias significativas para la salud física (lesiones) del personal de conducción ni de las personas de acompañamiento en cabina de conducción de dicho tren.	
Causa Directa: El accidente tuvo su origen en la circulación del tren 524, por un tramo con señalización degradada, sin realizar la pertinente comprobación de la posición de las agujas y con un exceso de velocidad, sin atenderse la conducción del tren 524 a lo prescrito en el Reglamento de Circulación, para las situaciones degradadas. Más concretamente, tal como demuestra la caja negra del tren 524, en el momento del descarrilo el manipulador marcha-freno se encontraba en posición de tracción y circulaba a 40 km/h.	

## INVESTIGACIÓN METODOLÓGICA: LO QUE HA FUNCIONADO



## INVESTIGACIÓN METODOLÓGICA: LO QUE **NO** HA FUNCIONADO



## **MÉTODO REACTIVO (TRADICIONAL FERROVIARIO):**

**- CAUSA DIRECTA (1)**

## **MÉTODO PROACTIVO (BOW-TIE):**

**- CAUSAS LATENTES (40)**

### **ASOCIADAS:**

**MODO ESPECIAL DE CONDUCCIÓN (ME), PROCEDIMIENTO DE MARCHA A LA VISTA, COMPROBACIÓN DE AGUJAS EN CONDUCCIÓN EN MODOS DEGRADADOS, COMUNICACIÓN ENTRE PERSONAL DE CCM – LINEA, REGLAMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE TMB, PRÁCTICAS DE TRABAJO DURANTE LAS OPERACIONES, INTERFASE HOMBRE MÁQUINA (HMI), PREPARACIÓN Y ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL, FORTALECIMIENTO DE LA CULTURA DE SEGURIDAD, MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y SISTEMAS**

- PRENSA ESPECIALIZADA
- TELEVISIÓN
- PRENSA DIVULGATIVA GENERAL
- SEMINARIOS: Laboralia, Alamys, APS en BCN,..

**MEJORA PIONERA DE LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN EL TRANSPORTE PÚBLICO**

## El metro incrementa un 18% la seguridad ante errores humanos

● TMB usa el método global de riesgos de las centrales nucleares y la industria espacial

● El sistema se ha desarrollado en ocho meses sobre 900 fallos posibles en la L-2 y L-9

**RAMÓN COMBARRERA**  
BARCELONA

En ningún orden de la vida, más allá de las increíbles leyes físicas, existe la seguridad total. Tampoco, claro está, en el transporte ferroviario. Sin embargo, si es posible extender hasta los límites racionales el análisis de probabilidades de que haya un fallo y poner barreras para que no ocurra. Matemáticos norteamericanos escribieron en 1975 el primer modelo exhaustivo de APS (análisis de probabilidad de seguridad) que desde entonces han aplicado, entre otros, dos sectores donde la fiabilidad es vital: centrales nucleares e industria espacial. TMB se ha convertido ahora en el primer operador que lo usa, tras un desarrollo de ocho meses en la L-2 y L-9 y en base a 902 fallos imaginables. La plena implantación del APS en el metro desde mayo ha mejorado, por ejemplo, un 18% la seguridad ante errores humanos, dijo ayer el director del área Jaime Pérez.

La seguridad del suburbano, como todo el transporte ferroviario, se regula hasta ahora por métodos reactivos o retroactivos: en base a las lecciones y experiencia de los accidentes ocurridos y a teorías de las normas vigentes. Así, una vez dentro de las leyes técnicas del sector, solo se abordan mejoras locales y generales a partir de lo ocurrido, pero sin considerar otros hipotéticos fallos. TMB cree que aprender de los errores es necesario, pero tiene limitaciones. El nuevo método, denominado proactivo, va mucho más allá. Se pregunta sobre todo aquello, conocido o distinto a la experiencia existente, que podría funcionar mal, por sus características y frecuencia y por la efectividad de las barreras creadas para evitarlo. El objetivo es anticiparse a los sucesos y poder dar prioridad a las acciones que refuerzan la probabilidad de accidentes.

El carácter exhaustivo, estructurado, sistemático y lógico del APS, según la cascada de adjetivos que le define Jaime Pérez, además de mejorar la seguridad tradicional permite

**La ventilación, elemento básico antipánico si el tren se para en un túnel**

● Entre los riesgos posibles de la L-9 sin personal de TMB a bordo, se sitúa en cabeza el pánico del pasajero si el tren se para largo tiempo en un túnel. Llegó a ser el 40% del total de las amenazas. Esto convierte la ventilación para evitar el calor, y también la luz, en un elemento básico de seguridad, destaca Jaime Pérez. En cambio en la L-2 convencional el porcentaje es cero. Es una de las revelaciones de la aplicación del método APS de evaluación. Ello obliga a TMB a efectuar un mayor esfuerzo en la nueva línea en el diseño, mantenimiento y mejora de las barreras o medidas que mitigan la posibilidad de una situación de pánico o estrés. Otra revolución es que el riesgo de colisión también es mayor en la línea automática, 22% frente a 14% en la L-2, por la menor práctica del personal al hacer alguna maniobra manual en las cocheras. Son casos extremos donde se actuará.

afrontar mejor las nuevas tecnologías, como las líneas automáticas sin personal a bordo, que generan incógnitas aún por resolver.

**OSCO TIPO DE SUCCESOS** / En las líneas estudiadas, la máquina analítica ha radiografiado ocho tipos básicos de riesgo o accidente posibles con incidencia tanto en los usuarios como en el personal: pánico de pasajeros largo tiempo en un túnel, electrocución, descarrilamiento, colisión con otro tren o la infraestructura, atropello, lesiones de viajeros por caídas o al quedar atrapados en puertas, circular con inundación e incendio. Apartado ello se han hecho sucesos y larguísima combinación de fallos, incluso tal mínimo como detener un carruaje automático medio centímetro más allá de los dos de margen tolerados, hasta llegar a un total de 465 incidentes en un línea convencional como la L-2 y 427 en una de automática como la L-9.

Después se han diseccionado en cada caso las barreras que, como fichas de control según clasificación de Jaime Pérez, existen para evitar esos fallos y que pueden caer en cascada si estos se producen. El sistema revela dónde inventar mejor los recursos, si bien a veces basta con cambiar procesos y ponerlos eficaces, m

## TMB implanta un modelo de predicción de riesgos de accidente basado en el de las centrales atómicas

# Seguridad nuclear en el metro de Barcelona

**OSCAR MUÑOZ**  
BARCELONA

La sofisticación tecnológica del metro, con trenes automáticos, ascensores sincronizados con las entradas y salidas de los convoyes o gestión remota de la circulación, requiere sistemas de seguridad cada vez más eficaces. El objetivo es evitar a toda costa los accidentes. Además de tener la infraestructura al día, personal preparado y una organización eficiente, es clave prever qué puede pasar mucho antes de ocurrir, detectar cuáles son los puntos débiles y actuar con antelación. Porque el riesgo como no existe. Para ello, Transports Metropolitans de Barcelona (TMB) ha creado un modelo basado en el de las centrales nucleares. Es la primera empresa ferroviaria que lo hace. Su implantación, que comenzó hace ocho meses, ha mejorado un 18% los niveles de seguridad relacionados con el factor humano.

Hasta ahora se seguían dos principios. El del fallo seguro mediante el que, cuando hay un problema, el tren se detiene. Así se evita un posible accidente. Y el aprendizaje de los incidentes pasados. Pero necesitamos ir más allá, un sistema que advierta de lo que puede pasar, aunque no haya ocurrido nunca, y que permita tomar decisiones para reducir los riesgos", explica Jaime Pérez, responsable de seguridad ferroviaria de TMB. Aquí entra el juego el análisis probabilista de seguridad (APS), que comenzó a emplear la industria nuclear a finales de los 70 y después adoptaron la petroquímica y la aeronáutica.

A partir de un suceso desencadenante (fallo humano, mecánico, organizativo o bien una combinación), se dibuja la cadena de hechos que conducen a situaciones de riesgo y, de estas, al incidente. En estos recorridos se identifican las barreras existentes para evitar el resultado negativo. Todo se plasma en un algoritmo matemático, de modo que modificando los elementos se sabe cuánto mejora o disminuye el riesgo. Se han analizado mil accidentes y presentado nueve escenarios: atropellos, descarrilamientos, colisiones, incendios o explosiones, lesiones de pasajeros por caídas, al quedar atrapados por las puertas o ser arrastrados, electrocuciones, inundaciones, intoxicaciones o situaciones de pánico. La metodología se ha aplicado a las líneas 2 y 9.

Los resultados confirman el alto nivel de seguridad. Pero señalan aspectos que mejorar. Por ejemplo, en la L-9. El pánico es el 40% de sus riesgos. La probabilidad de que ocurran es de cinco veces por año, mientras que en la L-2 es de tan solo 0,01. La razón es que en la primera no hay conductor. Por tanto, hay que mejorar las barreras que mitigan este riesgo, por ejemplo, mediante la información por megafonía. Una prestación de confort, el aire acondicionado, en esta línea mejora la seguridad. Si un tren se detiene en un túnel, la climatización reduce el estrés de los viajeros y la posibilidad de pánico. También llama la atención la evaluación del riesgo de colisión. En el conjunto de incidencias posibles, en la L-9 representa el 22%, mientras que en la L-2 es el 12%. La razón es que en la primera, al ser automática, sólo hay conducción manual ocasionalmente y el personal está menos acostumbrado a tomar los mandos. Para reducir este riesgo, bastaría con reforzar su formación práctica. ■

**AL CAREER DE CONDUCTOR, LA L9 ES LA LÍNEA CON MÁS RIESGO DE PÁNICO**

# EL FUTURO



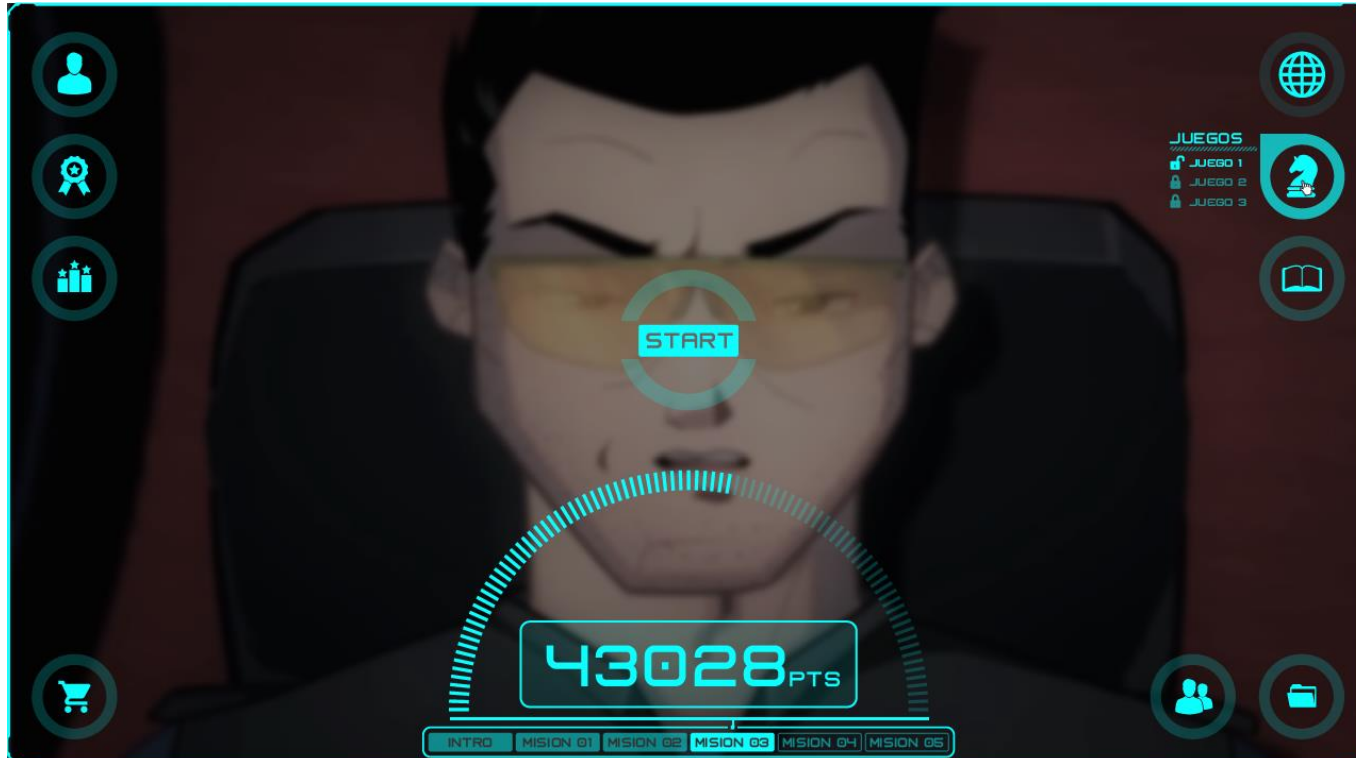
Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

- Promover el aprendizaje a través de los errores
- Una nueva tolerancia a errores; “**No-blame culture**”, nos facilita y permite aceptar errores para aprender de ellos
- Proactividad versus Reactividad
- Nos vamos a la fuente-causa de los incidentes/accidentes y no al resultado visible
- Mentalizar a la organización sobre “**learning organisation**”
- Entrenamiento de personas para mejorar la actuación en en situaciones de riesgo y prevenir errores





## Cambios de patrones conductuales a través de la Gamificación



## Simulación para exposición del FH a situaciones críticas



## Temarios formativos elaborados con técnicas de alto impacto



~~CUESTIONES OBIAS~~



**CONCLUSIONES PROPIAS**

## Implementar un Modelo Predictivo que se avance al Fallo Humano

### IDENTIFICAR Y PRIORIZAR FACTORES Y SUBFACTORES

- Seleccionar los factores y subfactores a utilizar
- Correlacionar tanto los factores como los subfactores
- Aplicar teorías de tomas de decisiones de los agentes implicados (expertos y trabajadores)

### DEFINIR MEDICION Y TIPIFICACION DE LOS FACTORES

- Consensuar la estrategia
- Definir los métodos de adquisición de datos
- Utilizar nuevas tecnologías para ciertos factores

### DESARROLLAR ALGORITMO PREDICTIVO

- Selección de algoritmos para la Knowledge Management System
- Aplicación de algoritmos predictivos

### DESARROLLAR CANAL PARA ADQUISICION Y TOMA DE DATOS REQUERIDOS

- Elaborar plataforma y adquisición y toma de datos

### CASO DE ESTUDIO Y VALIADCIÓN/AJUSTE

- Validar flujo de uso del sistema de visión
- Detección de errores formales o de usabilidad
- Contrastar con casos reales y ajustar la herramienta

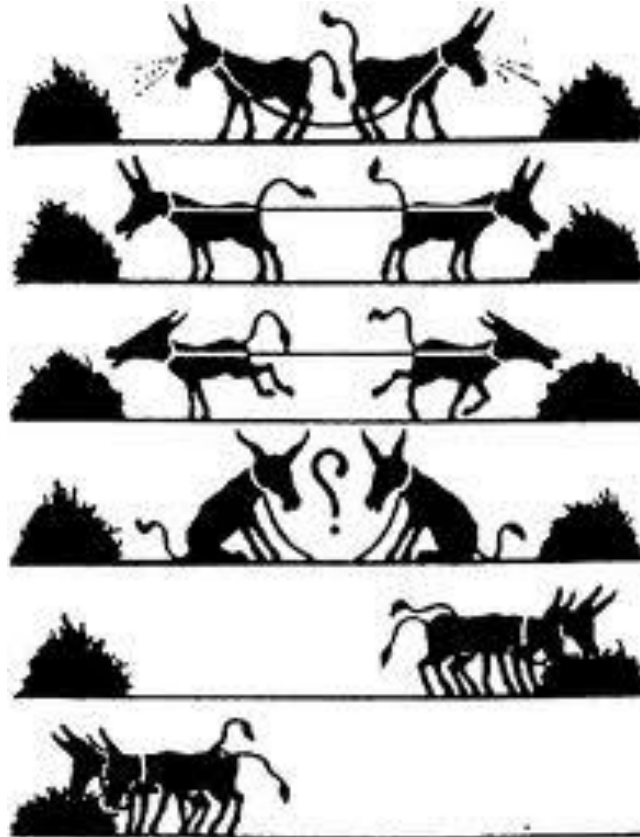
## PROYECTO DE I+D

# Conclusiones



Transports  
Metropolitans  
**de Barcelona**

**HAZ SIEMPRE LO QUE PUEDAS CON LO QUE  
TENGAS y COMPÁRTELO**



**YO NUNCA BEBO, SIEMPRE ME PONGO EL CINTURÓN, NUNCA CRUZO UN SEMÁFORO EN ROJO,.....**



A black and white photograph of a weightlifter in a dark setting, captured from the back. The athlete is in a starting stance, holding a barbell with both hands, ready to lift. The lighting highlights the musculature of the back and arms.

**LOS LOGROS NO SON MAGIA  
SON TRABAJO DURO Y DEDICACIÓN.**

## Invertir en el Factor Humano tiene resultados





# Gracias por su atención





Agradecimientos especiales:  
A todos aquellos que nos  
dijeron “**NO**”, sin vosotros no  
lo habiésemos conseguido





[jperezg@tmb.cat](mailto:jperezg@tmb.cat)

