



INDÚSTRIA QUÍMICA I SEGURETAT DE PROCÉS

Comissió Indústria Química
GT Seguretat de Processos
Enginyers Industrials de Catalunya. Associació/Col·legi

Desembre 2025

Autors

Ramon Camps, TEMA

Aleix Freixa, CENTRIENT

Rosa Nomen, IQS-URL

Alexis Pey, STAHL

Anna Puntí, TECHNIP ENERGIES

Jaume Sagarra, TÜV SÜD

Julià Sempere, IQS-URL

Manel Tendero, GIVAUDAN

Arturo Trujillo, DEKRA

EDITA

Col·legi/Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya

Via Laietana, 39

08003 Barcelona

93 319 23 00

www.eic.cat

Enginyers
Industrials de Catalunya

Avís legal i exempció de responsabilitats

Aquest llibret ha estat elaborat amb la millor voluntat i amb l'objectiu de compartir coneixements i bones pràctiques en seguretat de procés. Tot i això, el seu contingut és de caràcter general i no substitueix en cap cas l'assessorament tècnic o professional específic que pugui ser necessari en cada situació.

Tant els autors com el Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, així com les empreses o entitats amb les quals els autors puguin estar vinculats, declinen qualsevol responsabilitat derivada de l'ús que es faci de la informació aquí continguda.

Cada organització o lector és responsable de la correcta aplicació dels conceptes i de garantir el compliment de la normativa i dels estàndards de seguretat aplicables al seu entorn i localització de l'activitat.

Agraïments

Els autors volen agrair al Center for Chemical Process Safety (CCPS) de l'American Institute of Chemical Engineers la seva generositat en permetre la utilització d'una de les seves il·lustracions al capítol 3 d'aquest treball. El CCPS és una referència mundial en el camp de la seguretat de procés, i les seves publicacions han estat una font constant d'inspiració i coneixement per a tots els autors implicats en aquesta obra.

ÍNDEX

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | Introducció..... | 3 |
| 2. | Conceptes fonamentals | 7 |
| 3. | Normatives i estàndards claus de la Seguretat de Processos | 11 |
| 4. | Gestió dels riscos..... | 16 |
| 5. | Gestió del coneixement i la competència | 25 |
| 6. | Cicle de vida de la seguretat de procés..... | 29 |
| 7. | Operacions segures i disciplina operativa | 34 |
| 8. | Gestió de crisi i resposta a emergències | 39 |
| 9. | Tendències i innovació en seguretat de procés..... | 43 |
| 10. | Conclusions | 46 |
| Annex A. | Acrònims..... | 48 |
| Annex B. | Referències | 50 |
| Annex C. | Principals mètodes de gestió de riscos de procés..... | 52 |
| Annex D. | Llista de normes relacionades amb l'autoprotecció a Espanya..... | 54 |
| Annex E. | Plans territorials per Comunitat Autònoma | 56 |
| Annex F. | Adreces dels serveis de Protecció Civil de cada comunitat autònoma | 61 |



1. Introducció

1.1. Què és la seguretat de procés?

La **seguretat de procés** és la disciplina que s'ocupa de la prevenció de fuites, explosions, incendis i altres esdeveniments no desitjats relacionats amb substàncies perilloses en instal·lacions industrials: fàbriques i laboratoris (locals i zones de treball, manipulació i emmagatzemament de productes químics). A diferència de la seguretat laboral o prevenció de riscos laborals que sovint tracta de riscos com caigudes o lesions físiques, la seguretat de procés se centra en els sistemes tècnics, els actius (equips i instal·lacions) i els procediments que assegurin el control de matèries perilloses en les operacions industrials.

Aquesta disciplina integra coneixements de química, enginyeria, gestió de riscos i comportament humà. Inclou el disseny segur de processos, la gestió del canvi, l'anàlisi de riscos, la competència del personal, els sistemes d'emergència i molt més. L'objectiu és garantir que els perills inherents a les operacions industrials siguin identificats, avaluats i gestionats de manera sistemàtica.

El marc de la seguretat de procés s'articula habitualment al voltant de sistemes com els que es descriuen en detall a l'apartat 0.

1.2. Importància i beneficis d'una bona gestió de la seguretat de procés

Una gestió eficaç de la seguretat de procés ofereix múltiples beneficis, tant tangibles com intangibles:

- Protecció de les persones: evita accidents que poden provocar morts, lesions greus o seqüeles.
- Protecció del medi ambient: redueix el risc de contaminacions massives, emissions tòxiques i impactes ecològics greus.
- Continuitat operativa: minimitza interrupcions, aturades no planificades i danys a equips clau.
- Reputació i llicència per operar: manté la confiança de la comunitat, els reguladors i els inversors.
- Reducció de costos: evita els costos derivats d'accidents, com multes, reclamacions, neteges ambientals i reconstruccions.

La inversió en seguretat de procés, quan es fa de manera estructurada i proactiva, és altament rendible. No només evita desastres, sinó que també millora la qualitat operativa, fomenta la disciplina i reforça la cultura de responsabilitat dins l'organització.

1.3. Objectius d'aquest opuscle

Aquest opuscle té com a objectiu difondre coneixements essencials sobre la seguretat de procés de manera clara i estructurada, adreçada a professionals tècnics, responsables de planta, gestors de seguretat i qualsevol persona amb responsabilitat o interès en les operacions industrials.

En concret, se cerca:

- Exposar els principis fonamentals de la seguretat de procés.
- Presentar bones pràctiques i eines de gestió reconegudes internacionalment.

- Il·lustrar conceptes amb exemples concrets i casos d'accidents reals.
- Mostrar tendències d'innovació i tecnologies emergents.

És una guia per entendre el valor de la gestió sistemàtica de la seguretat de procés en entorns industrials i inspirar la seva aplicació efectiva.

1.4. Història i evolució: accidents emblemàtics

L'atenció global sobre la seguretat de procés va créixer arran d'accidents catastròfics que van posar en evidència les greus conseqüències de deficiències tècniques i organitzatives. Entre ells, en volem destacar alguns per la seva repercussió:

Flixborough (Regne Unit, 1974)

Una explosió de ciclohexà en una planta química va causar 28 morts i més de 70 ferits. L'accident es va produir per una modificació temporal mal dissenyada en una línia de procés, sense una anàlisi de riscos adequada ni gestió del canvi. Aquest incident va ser clau per posar en relleu la importància del control tècnic de canvis i la documentació d'enginyeria.

Seveso (Itàlia, 1976)

En el torn de nit del divendres 9 de juliol de 1976, un tècnic va donar l'ordre d'interrompre una destil·lació no completada del producte desitjat, triclorofenol, entre 150° i 160° C. La temperatura va superar els 250° C, i va augmentar fins a més de 400° C, per culpa d'una reacció exotèrmica no desitjada. Això va produir una fuga, entre altres productes, de 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina. La fuga va afectar milers de persones i va provocar una gran crisi de salut pública. Les dioxines no eren el producte desitjat i no se sabia que es podien formar en condicions no buscades i extremes. L'accident va donar lloc a la Directiva

Seveso de la Unió Europea, la qual regula les indústries amb matèries perilloses i exigeix estudis de risc, plans d'emergència i informació pública.

Càmping Els Alfacs (Espanya, 1978)

Un camió cisterna carregat amb propilè líquid va patir un accident i va bolcar a l'N-340, just davant del càmping. La cisterna es va escalfar ràpidament, va esclatar i va generar una ona de calor devastadora que va matar instantàniament 215 persones i en va ferir greument més de 200. El cas va posar en relleu el perill potencial del transport de mercaderies perilloses i la importància de la distància de seguretat entre infraestructures viàries i zones d'alta ocupació.

San Juan Ixhuatepec (Mèxic, 1984)

Una sèrie d'explosions en una planta d'emmagatzematge de GLP van causar la mort de prop de 500 persones i milers de ferits. L'origen va ser una fuga en una canonada que va formar un núvol de vapor inflamable. La ignició del núvol va desencadenar una cadena de boles de foc i BLEVES. L'accident va evidenciar la necessitat d'una adequada separació entre instal·lacions industrials i zones urbanes, així com una millor gestió del risc en instal·lacions d'emmagatzematge massiu de productes inflamables.

Bhopal (Índia, 1984)

La fuga massiva d'isocianat de metil d'una planta de pesticides, que estava aturada des de feia alguns anys, va matar més de 10.000 persones segons estimacions oficials, tot i que les estimacions independents superen les 30.000 víctimes. Aquest és probablement l'accident industrial més letal de la història, i un recordatori persistent de les conseqüències de la negligència en disseny, manteniment, formació i preparació d'emergència.

Piper Alpha (Regne Unit, 1988)

Un incendi i explosió en una plataforma petrolera va causar 167 morts. L'anàlisi posterior va mostrar greus mancances de comunicació entre torns, gestió de permisos de treball i resposta a emergències. Aquest accident va canviar radicalment la regulació *offshore* (mar endins) i va posar el focus en la cultura de seguretat.

AZF (Tolosa, França, 2001)

Una explosió massiva en una planta de fabricació de fertilitzants va causar 31 morts, més de 2.500 ferits i danys materials extensos. L'accident es va originar per la mescla accidental de nitrats i compostos clorats en un magatzem, provocant una detonació del nitrat d'amoni. La investigació va evidenciar deficiències en la gestió de productes incompatibles, en l'emmagatzematge i en els procediments operatius. Aquest accident va reforçar la importància de la gestió del risc químic i del control rigorós de les substàncies perilloses en les instal·lacions industrials.

Una petita investigació ha revelat que, des de l'accident històric d'Oppau (Alemanya) l'any 1921 fins al recent i conegut accident del port de Beirut (Líban), s'han registrat 30 accidents que han involucrat explosions de nitrat d'amoni (és a dir, aproximadament un cada tres anys), amb un total de 2.155 víctimes mortals (més de 70 per accident, de mitjana).

Texas City (Estats Units, 2005)

Una explosió durant la posada en marxa d'una columna de destil·lació a la refinaria de BP va provocar 15 morts i més de 170 ferits. L'anàlisi va revelar errors sistemàtics de cultura organitzativa, formació deficient i falta de manteniment preventiu. Aquest cas va influir profundament en la visió moderna de la gestió de riscos.

Buncefield (Regne Unit, 2005)

Una explosió massiva en un dipòsit de combustible va ser causada per un sobre emplenat no detectat. El sistema de monitoratge no va funcionar i les alarmes van ser ignorades. Aquest cas il·lustra la importància dels sistemes d'instrumentació de seguretat i la fiabilitat humana.

Deepwater Horizon (Golf de Mèxic, 2010)

L'explosió en una plataforma de perforació va provocar 11 morts i un vessament massiu de petroli. L'accident va posar en relleu deficiències en la gestió de barreres de seguretat, presa de decisions sota pressió i supervisió independent.

1.5. Aprenentatges clau dels accidents històrics

Dels accidents esmentats se'n deriven diverses lliçons:

- La importància de dissenyar per la seguretat i no només per l'eficiència i per l'economia immediata. La necessitat d'identificar i gestionar els perills abans de modificar instal·lacions.
- El valor de la formació i la competència operativa.
- La rellevància d'una cultura de seguretat sòlida.
- El paper central de la disciplina operativa i la gestió del canvi.
- La importància de tenir sistemes de resposta a emergències realistes i entrenats.

Aquests esdeveniments han conduït a una evolució significativa en la manera com la indústria aborda la seguretat de procés. S'ha passat d'una visió parcial i reactiva a una gestió integral, preventiva i basada en el risc.

1.6. Cap a una cultura de prevenció

Avui, la seguretat de procés ja no és només responsabilitat dels enginyers de planta o dels tècnics de seguretat. És una disciplina transversal que involucra tota l'organització, des del personal d'operació fins a la direcció executiva. La cultura de seguretat és un component fonamental: només quan els comportaments i les decisions de cada dia reflecteixen una consciència clara dels riscos, es pot aspirar a una operació realment segura.

Els avenços tecnològics (com es descriurà en capítols posteriors), així com l'accés a dades en temps real i a eines d'anàlisi avançada, poden ser grans aliats. Però el fonament continua sent la disciplina, el coneixement i el compromís amb la prevenció per part de tots, sense cap mena d'exclusió i començant pel president de la companyia.

2. Conceptes fonamentals

2.1. PRL i seguretat de procés

Com ja s'ha avançat al capítol anterior, convé distingir entre PRL i seguretat de procés. En aquest sentit, és interessant la següent anècdota: el grup de recerca creat a l'IQS va col·laborar durant molts anys amb la Generalitat de Catalunya per establir la metodologia d'anàlisi dels anomenats "Accidents Greus". En un Informe de Seguretat d'una petita instal·lació industrial, es recollien frases similars a les següents: "El risc principal és que exploti el reactor. Moriria l'operari de planta. No hi hauria, però, afectació a l'exterior. Per tant, no és un accident greu". Segons la terminologia oficial, efectivament, allò no es podia qualificar d'accident greu, tot i que la gravetat era indiscutible. Els processos no poden provocar la mort ni dels veïns (AG) ni dels treballadors (PRL).

Un altre element diferenciador entre la seguretat de procés i la prevenció de riscos laborals són els components del risc. Els accidents laborals presenten freqüències relativament elevades i conseqüències limitades. En canvi, els accidents de procés es caracteritzen per freqüències molt baixes i conseqüències potencialment greus. La responsabilitat d'evitar aquests accidents recau en els enginyers i enginyeres, i l'eina fonamental per aconseguir-ho és la seguretat de procés.

2.2. Riscos en indústries de procés

Per prendre consciència dels riscos generats, cal analitzar la manera en què es gestionen els processos. Abans, però, cal definir el concepte de risc i el seu origen: el perill. Una escala en molt mal estat, però sense cap accés possible, té un risc nul. En canvi, una escala còmoda i amb baranes, però de lliure accés, sempre comporta la

possibilitat de caiguda. Per tant, perill i risc no són equivalents: el primer és inherent a la matèria; el segon depèn de l'ús que se'n fa.

A continuació es reproduïx una llista de perills simplificada publicada pel Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya, amb 23 categories. Tot i que actualment pugui considerar-se obsoleta, continua essent molt instructiva:

1. Caigudes de persones al mateix nivell en llocs de pas o superfícies de treball i caigudes sobre o contra objectes.
2. Caigudes a diferent nivell des d'alçades i en profunditats.
3. Caiguda d'objectes elevats en edificis, murs, escales, piles de mercaderies,... i enfonsaments de masses de terra, roques,...
4. Caiguda d'objectes en manipulació, eines, materials, etc., sobre un treballador, sempre que l'accidentat sigui la mateixa persona a la qual li ha caigut l'objecte que utilitzava.
5. Caiguda d'objectes després d'eines, materials, etc., sobre un treballador, sempre que aquest no fos qui els estigués manipulant.
6. Trepitjades sobre objectes tallants o punxants que donen lloc a lesions.
7. Cops contra objectes immòbils. Considera el treballador com a part dinàmica, intervenint d'una manera directa i activa, colpejant-se contra un objecte que no estava en moviment.
8. Cops i contactes amb elements mòbils de la màquina, talls, esgarrapades, etc., ocasionats per elements mòbils de màquines i instal·lacions. No s'hi inclouen els cops per caiguda d'objectes.
9. Cops per objectes o eines, de manera que el treballador es lesiona per un objecte o

eina que es mou per forces diferents de la de la gravetat.

10. Projecció de fragments o partícules deguts a la projecció sobre el treballador de partícules o fragments voladors procedents de màquines o eines.
11. Bolcada de màquines, vehicles o altres elements mòbils, que deixen al treballador atrapat.
12. Atrapament per o entre objectes, elements de màquines, diversos materials, etc.
13. Sobreesforços originats per la utilització de càrregues o per moviments mal realitzats.
14. Exposició a temperatures extremes que causen alteracions fisiològiques als treballadors, tant si es troben en un ambient excessivament fred o massa calent.
15. Contactes tèrmics deguts a les temperatures extremes que tenen els objectes que entren en contacte amb qualsevol part del cos. Si en aquest cas es dona simultàniament el 14, preval el 14.
16. Contactes elèctrics deguts al corrent elèctric.
17. Inhalació o ingestió de substàncies nocives. Accidents causats per l'estada en una atmosfera tòxica o per la ingestió de productes nocius. S'hi inclouen les asfíxies i els ofecs.
18. Contactes amb substàncies càustiques i/o corrosives que donen lloc a lesions externes.
19. Exposició a radiacions, tant ionitzants com no ionitzants.
20. Explosions que donen lloc a lesions causades per l'ona expansiva o els seus efectes secundaris.
21. Incendis produïts pels efectes del foc o les seves conseqüències.
22. Exposició a agents biològics per éssers vius, com virus, bacteris, fongs o paràsits.
23. Altres ...

Aquests perills són presents a la major part d'instal·lacions de la indústria química. Entre ells, els químics específics corresponen principalment als punts del 17 al 21. L'exposició a substàncies nocives, càustiques o corrosives, així com a explosions, emissions i incendis, ha d'évitar-se a qualsevol cost.

Els perills enumerats pertanyen sobretot a l'àmbit de la PRL, atès que la majoria d'accidents hi estan relacionats. En canvi, dins la seguretat de procés s'inclouen, entre d'altres:

- Perills derivats de la inflamabilitat de les substàncies (incendis i explosions, ATEX).
- Perills derivats de la toxicitat de les substàncies.
- Perills derivats de la reactivitat de les substàncies, ja sigui desitjada (per produir reaccions químiques útils) o no desitjada (reaccions no previstes fora dels processos definits).
- Perills derivats del potencial impacte ambiental de les substàncies (emissions, abocaments, afectació al sòl), del seu impacte biològic (per processos amb agents vius).
- Perills associats a condicions de procés (temperatura, pressió) que poden comprometre la integritat de la instal·lació.
- Perills cibernètics (integritat i confidencialitat de dades i sistemes digitals).

En resum, la seguretat de procés en la indústria química es fonamenta en la prevenció de pèrdues i fuites de productes perillosos (*Loss Prevention*). Aquest objectiu es recolza en tres pilars:

- Disseny segur de les instal·lacions, amb documentació tècnica adequada, anàlisi de riscos i comprovació de la implementació segons especificacions.
- Integritat estructural de les instal·lacions, garantida mitjançant manteniment i millora contínua. Algunes tasques poden ser

internes, mentre que d'altres requereixen empreses externes especialitzades.

- Suport a l'acció de les persones en l'operació dels processos, per aconseguir-ne l'excel·lència i evitar desviacions. El risc acceptable depèn sempre de les condicions i mesures establertes; qualsevol desviació introdueix riscos no avaluats i, potencialment, no acceptables.

Als capítols següents s'aprofundeix en tècniques i metodologies per a reforçar cadascun d'aquests pilars.

2.3. Maduresa en seguretat de procés

La gestió de la seguretat de procés a cada empresa depèn de la seva història i del compromís de la direcció. Sovint està integrada en els sistemes de gestió generals, cosa que dificulta establir recomanacions universals. Tenint en compte la importància de l'acció de les persones, el model de Bradley (Dupont) estableix quatre nivells de maduresa en seguretat:

1. Reactiu: compliment mínim de normes, actuació instintiva dels operadors, sense implicació de la direcció.
2. Dependent: implicació directiva, compliment estricte de normes, disciplina i càstig.
3. Independent: interiorització dels valors de seguretat, responsabilitat personal, política de reconeixements.
4. Interdependent: responsabilitat compartida, ajuda mútua i orgull de pertinença.

Fins al tercer nivell, la seguretat depèn d'un sistema de premis i càstigs, amb eficàcia limitada.

A Catalunya, i de manera paral·lela, l'IQS va desenvolupar un model adaptat a entorns més mediterranis: la Gestió Distribuïda de la

Seguretat. Aquest model es basa en la percepció quotidiana de les persones i en sis dimensions clau:

1. Percepció del compromís de la direcció envers la seguretat.
2. Els membres de l'organització veuen que hi ha un compromís clar i visible de la direcció respecte a la seguretat, que es propaga per mitjà de la cadena de comandaments i arriba a totes les persones que formen l'organització. Aquesta és, de bon tros, la dimensió més important.
3. Percepció de la coherència de les accions de l'organització amb la seguretat.
4. Els membres de l'organització perceben les decisions de la direcció com a accions conseqüents amb el que exigeix al col·lectiu de persones que formen l'organització.
5. Percepció del rigor (exigència) en el compliment de les normes.
6. Aquesta dimensió és un element fonamental per poder assumir el compromís general amb la seguretat de tots membres de l'organització, tant de la seva pròpia seguretat com de la dels seus companys, es refereix al respecte absolut per les normes i procediments.
7. Percepció de l'eficàcia del sistema de comunicació en l'organització.
8. Els membres de l'organització senten que hi ha una comunicació efectiva, amb respostes ràpides a les propostes, proporcionant els recursos necessaris per establir la gestió efectiva de la seguretat, potenciant eines d'aprenentatge i de millora contínua.
9. Percepció de l'objectivitat de les accions de l'organització amb la seguretat.
10. Les persones adquireixen confiança en l'organització, reporten sense recança condicions i conductes insegures. Els membres de l'organització se senten sostinguts per la seva estructura i desitgen col·laborar-hi.

11. Percepció de l'eficàcia dels suports.

Les persones s'han de sentir les actrius principals dins del sistema de gestió de la seguretat, essent-hi i sentint-se part en la presa de decisions i involucrades en la millora d'aquest. La funció del personal de seguretat en aquesta dimensió és clau. En són els suports principals. Els resultats de l'eina d'avaluació del GDS permeten definir accions específiques per millorar la seguretat a cada emplaçament.

3. Normatives i estàndards claus de la Seguretat de Processos

A conseqüència de les lliçons apreses dels accidents esmentats al capítol 1, així com de la creixent presa de consciència de la comunitat sobre els perills tecnològics, tant les administracions com diverses associacions professionals i empresarials han anat publicant un conjunt de normes, guies, reglaments i legislació amb l'objectiu de prevenir i mitigar els accidents de procés. Òbviament, el compliment d'aquest marc normatiu i legislatiu, en les parts que siguin aplicables, és una condició necessària però no suficient per a una bona gestió dels riscos de procés. En aquest capítol es presentarà una visió general de la principal normativa aplicable.

3.1. La gestió de la Seguretat de Processos

Diverses organitzacions internacionals han desenvolupat estàndards que proporcionen marcs de treball, bones pràctiques i requisits tècnics per garantir una gestió eficaç i coherent en l'àmbit global de la seguretat de processos. Aquests estàndards ajuden les indústries a identificar, avaluar i controlar els riscos de manera sistemàtica.

El Center for Chemical Process Safety (CCPS) ha desenvolupat un model de seguretat de procés basada en el risc (RBPS estructurat en quatre pilars i vint elements, que ajuda les organitzacions

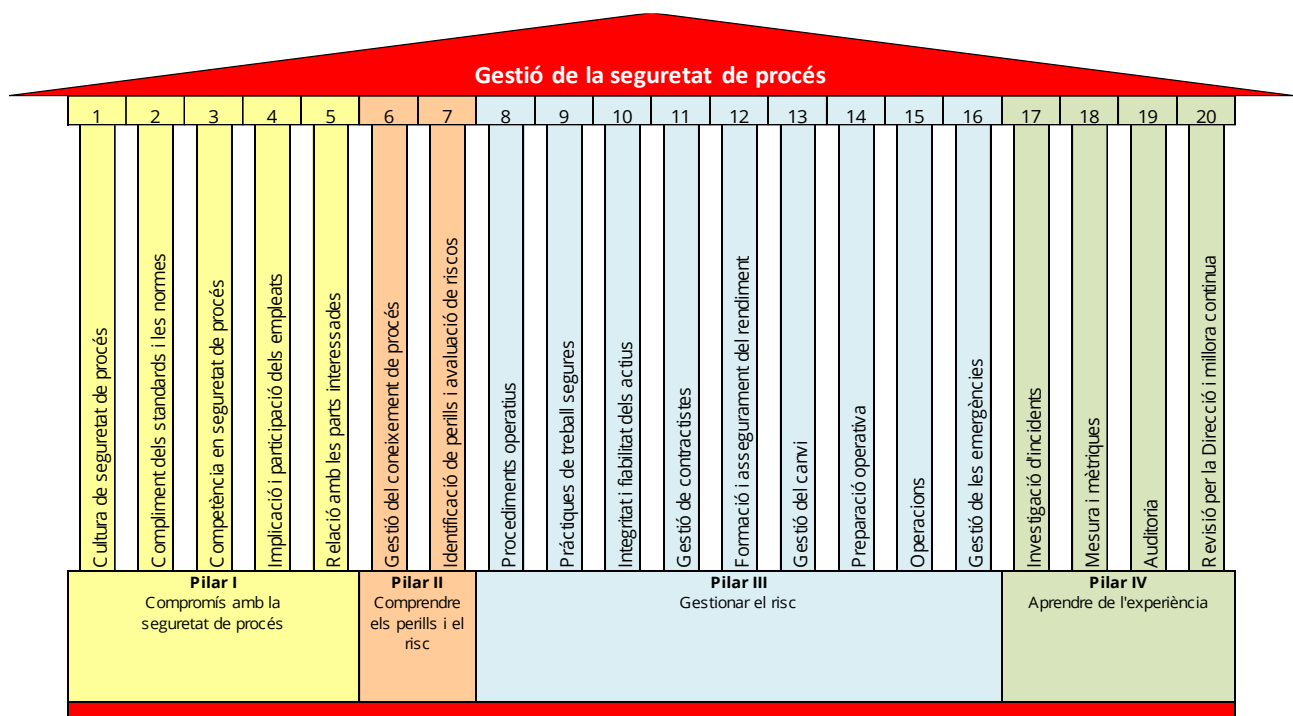


Figura 3.1. Pilars (Blocs fundacionals) i Elements associats que constitueixen el *Risk-Based Process Safety Management System (RBPS Management System)*. Center for Chemical Process Safety (CCPS). American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 2014, pàgina 4.

a prevenir incidents greus mitjançant una gestió sistemàtica i basada en el risc. La figura 3.1 mostra gràficament els pilars i elements d'aquest esquema.

També dins dels estàndards clau de la gestió de la seguretat, l'ISO 45001:2018 és una norma internacional que estableix els requisits per a un Sistema de Gestió de la Seguretat i Salut en el Treball. Substitueix l'antiga OHSAS 18001 i està dissenyada per ajudar les organitzacions a millorar la seguretat laboral, reduir riscos i crear condicions de treball més segures. Es basa en l'estructura d'alt nivell, com l'ISO 9001 (qualitat) i ISO 14001 (medi ambient), per facilitar la integració i promoure el pensament basat en el risc i la millora contínua. Tanmateix, la seva aplicabilitat a la seguretat de procés és limitada.

3.2. Normativa de prevenció d'accidents greus

L'accident químic de 1976 a Seveso va evidenciar la manca de regulació per prevenir accidents greus amb substàncies perilloses, motiu pel qual la Unió Europea va promulgar la Directiva anomenada "Seveso I", amb l'objectiu de protegir la salut pública i el medi ambient. Des de llavors, la normativa ha evolucionat en diverses versions: Seveso II i, actualment, Seveso III (Directiva 2012/18/UE).

La Directiva és aplicable a establiments que superin determinades quantitats de substàncies perilloses descrites al seu annex I, i estableix dos nivells d'afectació normalment denominats inferior i superior.

En l'àmbit espanyol es transposa mitjançant el Reial decret 840/2015, de 21 de setembre, que estableix les següents obligacions per als industrials:

- Notificació a l'autoritat competent.
- Elaboració d'una política de prevenció d'accidents greus.
- Sistema de gestió de la seguretat.
- Informe de seguretat per a establiments de nivell superior.
- Plans d'emergència interns i externs.
- Informació al públic i consulta a la població.

El sistema de gestió de la seguretat requerit per la Directiva Seveso és més simple que els esmentats a l'apartat anterior i hauria d'incloure, com a mínim:

1. Organització i personal, amb distribució de responsabilitats.
2. Identificació i avaluació de riscos.
3. Control de l'explotació i manteniment.
4. Gestió del canvi.
5. Planificació d'emergències (pla d'autoprotecció).
6. Seguiment d'objectius i aprenentatge d'incidents.
7. Auditoria i revisió del sistema.

Dins de l'àmbit espanyol, el Reial decret 1196/2003 va aprovar la Directriu bàsica de protecció civil per a la planificació davant el risc d'accidents greus. Tot i que aquesta normativa està actualment derogada per la disposició derogatòria únic 2.b. del Reial decret 524/2023, de 20 de juny, la Directriu bàsica es continuarà aplicant fins que s'aprovi el nou instrument de planificació que la substitueixi.

En l'àmbit autonòmic, el Decret 174/2001, de 26 de juny, regula l'aplicació a Catalunya del Reial decret 1254/1999 (antecessor del 840/2015) i defineix principalment:

- La planificació territorial.
- Els canvis substancials.
- L'efecte dòmino.
- La metodologia d'AQR.

També a Catalunya s'apliquen diverses instruccions específiques relacionades amb la Directiva Seveso III i la planificació territorial. Cal destacar la Instrucció DGI 3/2021 (publicada al DOGC com a Resolució EMT/406/2022), que estableix el procediment per a l'avaluació de la documentació dels establiments afectats per la Directiva Seveso i obliga aquests a presentar un Informe de Seguretat avaluat per un organisme de control habilitat. A més, defineix els tràmits i el procediment que han de seguir els titulars, així com les tarifes dels organismes de control, que han de ser comunicades i publicades per la Generalitat.

Així mateix, el Departament d'Empresa i Treball de la Generalitat de Catalunya ha publicat les guies tècniques següents d'interpretació de la Directiva 2012/18/UE:

- Quadre núm. 1: Guia d'actuacions per identificar si una activitat està afectada en nivell alt o baix per la Directiva d'accidents greus.
- Quadre núm. 2: Obligacions dels industrials (documentació a presentar).
- Aclariments per a l'aplicació de la Directiva 2012/18/UE, de 4 de juliol, relativa al control dels riscos inherents als accidents en què intervenen substàncies perilloses i per la qual es modifica i deroga posteriorment la Directiva 96/82/CE.

L'equivalent nord-americà de la Directiva Seveso és la 29 CFR 1910.119, promulgada per l'OSHA. El model de PSM segons aquesta norma es fonamenta en 14 elements clau i, a diferència del model RBPS del CCPS, que promou la millora contínua i la cultura de seguretat, el PSM estableix requisits mínims obligatoris, igual que la Directiva Seveso.

3.3. Altres regulacions relacionades amb la seguretat de processos

3.3.1. Classificació i registre de productes químics

En el marc legislatiu de la Unió Europea hi ha dues normatives d'obligat compliment en la classificació i registre de productes químics: el Reglament REACH 1907/2006 i el Reglament CLP 1272/2008, modificat recentment pel Reglament (UE) 2024/2865.

El Reglament REACH regula la producció i l'ús de substàncies químiques per protegir la salut humana i el medi ambient. Un dels seus principals objectius és fomentar mètodes alternatius per avaluar els riscos que plantegen les substàncies, així com garantir la lliure circulació de substàncies al mercat interior de la Unió Europea.

El Reglament CLP regula com s'han de classificar, etiquetar i envasar les substàncies i mesclades químiques i té com a objectiu assegurar que els perills es comuniquin de manera clara i coherent a través d'etiquetes i fitxes de dades de seguretat, tant per a professionals com per al públic general. Aquest reglament s'alinea amb el Sistema Globalment Harmonitzat (GHS) de les Nacions Unides.

La European Chemicals Agency, amb seu a Hèlsinki, és l'organisme encarregat de gestionar la implementació tècnica, científica i administrativa dels principals reglaments europeus sobre productes químics, i ofereix guies simplificades per a empreses sobre com aplicar REACH i CLP, especialment útils per a PIME.

El Departament d'Empresa i Treball de la Generalitat ha creat el servei InfoREACH per donar suport a les empreses que tracten amb productes químics i han d'aplicar els Reglaments REACH i CLP.

3.3.2. Emmagatzematge de productes químics

L'emmagatzematge de productes químics a Catalunya està regulat pel Reglament d'Emmagatzematge de Productes Químics (aprovat pel Reial decret 656/2017). Aquest reglament estableix les condicions de seguretat que han de complir les instal·lacions on es manipulen, emmagatzemen, carreguen o descarreguen productes químics perillosos. L'àmbit d'aplicació inclou instal·lacions de nova construcció, ampliacions o modificacions que no estiguin integrades en processos industrials, i exclou aquelles regulades per normatives específiques.

Per posar en servei una instal·lació, cal presentar un projecte tècnic que justifiqui el compliment del reglament, una certificació signada pel tècnic responsable i una assegurança de responsabilitat civil. A més, cada cinc anys s'ha de presentar un certificat d'un organisme de control autoritzat que acrediti la conformitat de les instal·lacions. El titular de la instal·lació és responsable del manteniment, la seguretat i l'adequació a la normativa vigent.

En els darrers anys, s'ha impulsat la digitalització dels processos administratius i l'adaptació de la normativa a nous riscos emergents, com els disruptors endocrins o les substàncies persistents i tòxiques.

3.3.3. Instal·lacions petrolíferes

El Reglament d'instal·lacions petrolíferes, aprovat pel Reial decret 2085/1994, regula les condicions d'operació segura de refineries i parcs de tancs on s'emmagatzemen productes derivats del petroli. Fora de l'àmbit de les refineries i els grans parcs de tancs, la Instrucció Tècnica Complementària MI-IP 03, aprovada pel Reial decret 1427/1997, regula les instal·lacions petrolíferes per a ús propi, és a dir, les destinades a l'emmagatzematge i

subministrament de carburants i combustibles líquids per al consum dins la mateixa instal·lació.

L'objectiu principal de la ITC-IP-03 és garantir la seguretat mitjançant requisits tècnics específics, com les condicions que han de complir els dipòsits de combustible i els seus equips auxiliars. També regula aspectes com la capacitat màxima dels tancs, la seva ubicació (aeri o soterrat), les distàncies de seguretat, els sistemes de contenció de vessaments, la ventilació, la protecció contra incendis i la senyalització.

A més, la instrucció exigeix que les instal·lacions siguin dissenyades i executades per empreses autoritzades, i que es realitzin inspeccions periòdiques per garantir-ne el correcte funcionament.

3.3.4. Instal·lacions d'equips a pressió

La normativa d'equips a pressió es basa en el Reial decret 809/2021, que regula la posada en servei, inspecció i seguretat d'aquests equips, i en la Directiva 2014/68/UE del Parlament Europeu. Aquesta normativa s'aplica a calderes, recipients, canonades i accessoris que continguin gasos o líquids a pressió superior a 0,5 bar. L'objectiu és garantir la seguretat de les persones, les instal·lacions i el medi ambient.

Els equips es classifiquen en categories I a IV segons el risc, i han de complir amb requisits de disseny, fabricació, assaig i marcatge CE. A partir de la categoria I, cal una avaluació de conformitat per part d'un organisme notificat. A més, els equips han de ser instal·lats per empreses autoritzades i inscrits al registre de l'autoritat competent.

A Catalunya, la Generalitat supervisa el compliment mitjançant inspeccions periòdiques obligatòries i s'han de fer cada 2, 4 o 6 anys segons el tipus d'equip i la seva categoria.

3.3.5. Instal·lacions de gasos combustibles

El Reglament tècnic de distribució i utilització de gasos combustibles, aprovat pel Reial decret 919/2006, regula les condicions de seguretat de les instal·lacions que distribueixen i utilitzen gasos combustibles com el gas natural o el GLP (gas líquid del petroli). Aquest reglament s'aplica tant a les xarxes de distribució com a les instal·lacions receptores domèstiques, comercials i industrials, i inclou les Instruccions Tècniques Complementàries (ITC-ICG 01 a 11), que detallen els requisits tècnics específics per a cada tipus d'instal·lació.

L'objectiu principal és garantir la seguretat de les persones, els béns i el medi ambient, establint criteris per al disseny, execució, posada en servei, inspecció i manteniment de les instal·lacions. El reglament exigeix que les instal·lacions siguin executades per empreses instal·ladores autoritzades, i que es realitzin inspeccions periòdiques per verificar-ne el bon estat i funcionament.

3.3.6. Atmosferes explosives

La identificació i classificació d'atmosferes explosives (ATEX) està regulada per un conjunt de normes europees i estatals que estableixen criteris per identificar, classificar i protegir les zones amb risc d'explosió. Aquestes normatives són essencials per garantir la seguretat de les persones i les instal·lacions en entorns on poden aparèixer gasos, vapors, boires o pols inflamables.

Les principals normes d'aplicació són:

- Directiva ATEX 2014/34/UE: regula els requisits dels equips i sistemes de protecció destinats a ser utilitzats en atmosferes potencialment explosives. És d'aplicació obligatòria per a fabricants i importadors.

- Reial decret 144/2016: transposa la Directiva 2014/34/UE a l'ordenament jurídic espanyol. Aquest Reial decret estableix els requisits essencials de salut i seguretat per a aquests productes, i assegura que compleixin amb els estàndards europeus abans de ser comercialitzats o posats en servei dins del mercat de la Unió Europea.
- Directiva ATEX 1999/92/CE: estableix les obligacions mínimes per a la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats a riscos derivats d'atmosferes explosives. Inclou la classificació de zones (0, 1, 2 per gasos i 20, 21, 22 per pols) i l'elaboració del DPCE. Aquest, s'ha d'elaborar i actualitzar cada cop que es faci algun canvi o modificació a l'establiment.
- Reial decret 681/2003: transposa la Directiva 1999/92/CE a l'ordenament jurídic espanyol. Estableix les mesures de prevenció i protecció, la senyalització, la formació dels treballadors i la classificació de zones ATEX.
- Normes UNE-EN IEC 60079: són normes tècniques harmonitzades que detallen com classificar les zones ATEX i com han de ser els equips elèctrics i no elèctrics per a aquestes zones. Per exemple:
 - UNE-EN IEC 60079-10-1: classificació de zones amb gasos inflamables.
 - UNE-EN IEC 60079-10-2: classificació de zones amb pols combustibles

L'Institut Nacional de Salut i Seguretat en el Treball ha publicat una guia tècnica on ofereix orientacions pràctiques per aplicar el Reial decret 681/2003 i classificar correctament les zones ATEX, així com per elaborar el DPCE.

4. Gestió dels riscos

4.1. Introducció

Les organitzacions, processos i instal·lacions es defineixen a partir de les decisions preses pels equips que les conceben, dissenyen, implementen i gestionen. En molts casos, les conclusions i accions que finalment es posen en pràctica es prenen durant els processos d'avaluació de riscos, proporcionant els fonaments que justifiquen decisions i pràctiques implementades.

L'estat actual del coneixement amb relació a la gestió de riscos, provoca que sigui força comú l'ús de diverses metodologies en funció dels objectius o conclusions ja adoptades. Per aquesta raó, comprendre els fonaments de les metodologies d'avaluació de riscos és essencial per tal que les organitzacions puguin integrar aquests processos de manera efectiva i eficient dins els seus sistemes de gestió de la seguretat.

Les metodologies d'avaluació de riscos s'han d'entendre com a eines que tenen com a objectiu proporcionar suport en la tasca d'identificar els perills i avaluar els riscos al llarg del cicle de vida d'una instal·lació o procés, des de la concepció inicial fins al seu desmantellament.

Com a eines, les metodologies d'avaluació de riscos han de respondre a una finalitat específica i fer-ho de la manera més efectiva possible. La descripció de les expectatives, límits d'aplicació, i resultats ha de ser clara. A partir d'aquestes, es deriven els principis metodològics, el disseny estructural de les eines, i el suport en la presa de decisions.

Un principi rellevant és que els sistemes i metodologies han d'ajudar les persones a treballar, i no imposar limitacions que la dificultin a causa de com han estat concebudes. L'objectiu d'aquest capítol és descriure els elements

estructurals que les metodologies més habituals consideren, per tal de comprendre l'aplicació i poder establir relacions clares que ajuden a integrar-les de manera efectiva i comprensible.

4.2. Sistemàtica

L'element més important a tenir clar en qualsevol metodologia d'identificació de perills i avaluació de riscos, és la sistemàtica que la governa. L'objectiu d'una metodologia és garantir que la identificació i l'avaluació dels perills és la més exhaustiva i completa possible, minimitzant el risc que quedin aspectes rellevants sense identificar o avaluats incorrectament.

La sistemàtica defineix en gran manera el grau de llibertat amb què es poden identificar i avaluar els perills. Una metodologia molt oberta permet una identificació i debats amplis. Per altra banda, pot provocar un debat poc estructurat i menors garanties pel que fa a la completa identificació o avaluació de perills. Un exemple és la pluja d'idees, que no estableix pràcticament cap límit a allò que es pot concebre per a ser debatut, és per aquest mateix fet molt poc sistemàtic i com a conseqüència és difícil garantir que s'han debatut tots els punts rellevants.

Per altra banda, una metodologia molt tancada també garanteix que tots els punts que s'han de considerar es debaten durant l'anàlisi. Això no obstant, si algun aspecte no s'ha considerat inicialment, quedarà fora de les consideracions i del debat. Un exemple d'aquest tipus de metodologia, són les llistes de comprovació, ja que són molt sistemàtiques i amb una estructura totalment definida, provocant que es revisin tots els punts que s'han inclòs a la llista, i fent, normalment difícil considerar altres aspectes.

Per això, la sistematització, o regles d'ús, d'una metodologia són molt rellevants per a la identificació i avaluació de perills i permet entendre que sigui freqüent l'ús de metodologies mixtes que combinen els punts més forts de diferents anàlisis metodològiques.

El grau de llibertat en la identificació dels perills i l'argumentació de solucions ha de definir-se en funció del propòsit i l'abast de la metodologia.

Normalment, la sistemàtica també té una gran influència a l'hora d'establir l'estructura d'una metodologia i, per tant, la manera com es realitza la identificació i l'avaluació, fent que la metodologia sigui més simple o complexa des d'un punt de vista cognitiu.

Per tot això, és molt important que una metodologia consideri com serà implementada en una organització i quins seran els usuaris i quines les decisions finals esperades.

4.3. Definició d'escenaris

Un punt comú i essencialment estructural en qualsevol d'aquestes metodologies és la definició dels escenaris incidentals. A continuació es presenten els elements imprescindibles per a construir un escenari:

4.3.1. Desviacions i causes

Una anàlisi del risc parteix d'un conjunt de característiques, que se circumscriu als següents àmbits:

- **Processos:** són els conjunts de condicions físiques i/o químiques que defineixen la manera en què pretenem que es comportin les substàncies. La concepció d'un procés ha de ser independent dels equips i de les instal·lacions on finalment es realitzarà.

- **Actius:** és el conjunt d'instal·lacions i equips on s'implementaran processos. Les característiques, disposició i funcions de les instal·lacions i equips permeten establir els límits operatius segurs a què cal circumscriure's durant la realització dels processos.
- **Operacions:** és la seqüència d'accions que es realitzaran i de les condicions que s'establiran a les instal·lacions i equips a fi que els processos es duguin a terme aconseguint el resultat desitjat. La definició de les operacions es pot concebre com el moment en què s'estableix l'acord entre el procés que es desitja i allò que és possible realitzar amb els actius disponibles.
- **Procediment:** és el conjunt de regles i instruccions que estableixen com s'han d'efectuar les operacions.

Una vegada establerts els paràmetres desitjats, el primer pas en una anàlisi del risc és definir les desviacions que es poden donar i, per això, cal establir les causes que les poden provocar.

Essencialment, les causes responen a la pregunta "què ha de succeir per tal que algun procés o operació no es desenvolupi com s'ha concebut?". Són, per tant, les condicions o accions que s'han de donar per provocar una desviació i iniciar un escenari.

4.3.2. Conseqüències

Quan s'identifica una desviació, cal definir les conseqüències que aquesta genera als processos o actius i establir la seva rellevància.

La magnitud (gravetat, impacte, etc.) de les conseqüències es pot considerar amb més o menys detall i normalment aquest factor es defineix en funció dels criteris utilitzats en termes d'acceptació del risc.

En algunes metodologies d'avaluació de riscos, el simple fet que s'identifiqui la presència d'un perill és suficient per requerir que s'estableixin mesures de seguretat, sense que sigui necessari descriure explícitament les conseqüències ni la seva magnitud. Per exemple, en un permís de treball per treballar en alçada, la condició única de treballar en alçada requereix prendre mesures de seguretat sense necessitat d'especificar ni les conseqüències ni la seva magnitud, ja que s'han establert inherentment en funció del perill.

En altres metodologies, ni les conseqüències ni la magnitud es poden predeterminar i cal descriure-les per a cadascun dels escenaris.

En qualsevol cas, totes les metodologies d'avaluació de riscos integren d'alguna manera la consideració de les possibles conseqüències que poden desencadenar les desviacions del procés previst i, en aquest sentit, és molt important entendre els criteris vinculats a l'avaluació de conseqüències.

Finalment, és important esmentar que és una bona pràctica i de gran utilitat, considerar les conseqüències en diferents àmbits, evitant considerar que només és interessant descriure i desenvolupar els escenaris quan les conseqüències són a l'àmbit dels danys a la salut, al medi ambient o a les instal·lacions. Una anàlisi del risc és una oportunitat excel·lent per identificar conseqüències en àmbits com la qualitat, la productivitat, les cadenes de subministrament, o l'eficiència, aspectes i efectes que ben gestionats milloren els resultats de qualsevol activitat.

4.3.3. Enfocament en el coneixement

Tenint en compte els punts anteriors, el coneixement real i complet dels processos, actius i operacions permetrà inherentment definir els valors i condicions adequats per a totes les

variables, paràmetres i configuracions rellevants per a aconseguir els resultats desitjats.

Inherentment, aquest coneixement és el que permet identificar les possibles causes de desviacions i conseqüències que poden donar-se en:

- **Processos:** quines condicions són perilloses ateses les característiques de les substàncies involucrades? Quins comportaments químics o físics no desitjats poden desenvolupar-se?
- **Actius:** quins mal funcionaments es poden donar en els equips i instal·lacions?
- **Operacions:** tenint en compte els processos i els actius, quin serà el resultat final de les desviacions que es poden produir i quines conseqüències tindran?
- **Procediments:** quins errors es poden cometre en cas de no seguir els procediments establerts? Quines conseqüències tenen aquests errors?

L'enfocament en el coneixement és fonamental pel fet que un escenari està ben descrit si se n'identifiquen correctament les causes i les conseqüències que provoca.

Sovint, no es disposa d'un coneixement complet en les etapes de desenvolupament dels processos o fases de disseny de les instal·lacions, per tant, els supòsits, dubtes i observacions relacionades amb el coneixement, s'han de descriure i revisar a mesura que el coneixement es fa disponible, normalment de manera gradual, durant el desenvolupament d'un projecte.

Els resultats d'una avaluació de riscos impliquen inherentment un cert grau d'incertesa, però, sense un coneixement adequat no hi ha cap garantia que els resultats d'una avaluació de riscos permetin definir condicions de procés segures en qualsevol sentit i independentment de la metodologia utilitzada.

Un símptoma que s'ha arribat al límit del coneixement és que davant d'una desviació no se sap si es pot donar o no és possible descriure amb certesa les conseqüències que aquesta desviació provoca.

4.4. Pla d'acció

Sovint, després de finalitzar una anàlisi del risc i de tenir clares les mesures necessàries, la percepció és que els riscos ja han millorat. Encara que sigui evident, cal recordar que els riscos no es redueixen fins que s'implementen les mesures definides.

La definició clara de les accions i la seva implementació efectiva és un pas fonamental per a la gestió dels riscos.

Les metodologies d'avaluació de riscos han de conduir, per tant, a una selecció clara de les accions necessàries quan són metodologies tancades o definir com a requisit que les accions s'han d'especificar clarament quan són metodologies obertes. En aquest darrer cas, aquesta és una tasca important del moderador de l'avaluació de riscos.

En cas que no es disposi de prou coneixements per avaluar el risc o definir les mesures adequades, es pot definir una acció que recordi el fet que cal buscar el coneixement necessari per arribar a una conclusió clara. Aquesta consideració és important, perquè, com ja s'ha esmentat, hi ha un vincle directe entre la fiabilitat d'una avaluació de riscos i el coneixement que s'ha tingut en realitzar-la.

4.5. Línia temporal

És interessant mencionar en aquest punt que una metodologia d'avaluació de riscos i una metodologia d'investigació d'accidents

comparteixen essencialment la mateixa estructura, ja que en els dos casos es requereix descriure les causes, les conseqüències, les mesures de seguretat, etc.

La diferència principal és que en una avaluació de riscos el que es fa és una predicció a futur d'allò que pot i ha de succeir per a generar un escenari accidental; mentre que, en una investigació d'accidents, s'utilitza un mètode deductiu per descriure la seqüència d'esdeveniments que s'ha produït en un accident.

És a dir, en una avaluació de riscos els esdeveniments es projecten a futur i en una investigació d'accidents es dedueixen a passat.

Aquesta menció és important, ja que quan es fa una avaluació de riscos és important tenir present que el que s'escriu és potencialment una investigació d'accident futur i, per altra banda, en una investigació d'accidents és molt rellevant veure si, a les anàlisis del risc disponibles, els esdeveniments i condicions que s'han donat s'havien descrit i considerat tal com s'han succeït.

4.6. Acceptació de riscos

A més de la sistemàtica, l'acceptació del risc és l'altre factor que influeix clarament en la definició d'una metodologia d'avaluació de riscos.

L'acceptació del risc defineix el risc màxim que s'acceptarà per dur a terme un procés o per fer una activitat. L'acceptació del risc ha d'estar clarament definida quan s'adopta una metodologia d'avaluació de riscos.

4.6.1. Risc

Generalment, el risc es defineix com la combinació de dos factors: freqüència i gravetat.

No obstant això, cal recordar que, tot i determinar la freqüència i la gravetat en una avaluació de riscos, ambdues són majoritàriament una funció dels escenaris identificats i, al mateix temps, els escenaris identificats depenen directament del grau de coneixement disponible en relació amb els processos, actius, operacions i procediments, les possibles desviacions, les seves causes i les seves conseqüències. Per tant, la selecció correcta del coneixement, en tant que participants en les sessions d'anàlisi del risc, és fonamental per a obtenir una elevada qualitat dels estudis.

Una possible manera de classificar els criteris d'acceptació del risc és distingir entre enfocaments deterministes i probabilístics. Ambdós enfocaments es descriuen breument en els següents punts.

4.6.2. Enfocament determinista del risc

Un enfocament determinista es basa en un principi de precaució centrat en les conseqüències, ignorant-ne en gran manera la freqüència.

L'enfocament es basa en el fet que cada vegada que s'executa una acció o procés hi ha el risc que es produeixin desviacions. En conseqüència, es considera que si hi ha un perill potencial o es pot produir una desviació, sempre que no es puguin descartar, les mesures de seguretat han d'estar preparades en cas que es produeixin.

A més, la gravetat sovint s'aborda des del pitjor dels casos o amb alguns criteris de classificació, normalment curts. Seguint els mateixos criteris conservadors que el de la freqüència, si no es pot descartar un determinat grau de conseqüència, l'argumentació i l'avaluació es defineixen en funció d'aquests efectes creïbles del pitjor dels casos.

En un enfocament determinista, tant la gravetat com, especialment, la freqüència es redueixen a

un concepte d'un sol punt que determina les mesures de seguretat necessàries. En termes pràctics, l'acceptació del risc considera que si es produeix un accident, les conseqüències no són acceptables independentment de la probabilitat alta o baixa. Per tant, els riscos s'accepten quan s'han adoptat les mesures adequades.

4.6.3. Enfocament probabilístic del risc

Un enfocament probabilístic es basa en el concepte tradicional de risc com una combinació de gravetat i freqüència que té ambdós factors un rang progressiu de valors.

En aquest sentit, el risc es defineix com el resultat d'una avaluació numèrica, és a dir, es defineix per una distribució de valors.

Per la necessitat de proporcionar un valor específic a la gravetat i la freqüència dins del marge disponible, els detalls requerits solen ser més complexos i les causes i conseqüències s'analitzen i descriuen amb un nivell de detall més alt en comparació amb un enfocament determinista.

L'enfocament probabilístic del risc té com a objectiu proporcionar un enfocament el més realista possible del risc. Això no vol dir que no es tingui en compte cap marge de seguretat en l'estimació que condueix a l'avaluació numèrica.

Un enfocament probabilístic del risc es representa normalment amb una matriu d'acceptabilitat del risc. Tanmateix, a vegades s'inclouen factors addicionals a més de la severitat i freqüència dels esdeveniments. Per exemple, la capacitat de detectar una desviació provoca que el criteri final consisteixi, per exemple, a multiplicar els tres valors i obtenir un valor final que representa el nivell de risc. D'aquesta manera l'acceptabilitat es defineix en funció del valor final i únic.

4.7. Relacions d'estructura i integració metodològica

Després d'haver descrit els elements estructurals i els criteris fonamentals per a les metodologies d'avaluació de riscos, ara és possible proposar els punts on es poden vincular i integrar eficaçment diverses metodologies. Les metodologies que es detallen a continuació consideren a la seva estructura els aspectes descrits fins ara, això no obstant, es classifiquen pel seu caràcter més rellevant.

4.7.1. Generalistes

En primer lloc, hi ha diverses metodologies àmpliament utilitzades i que es consideren generalistes, pel fet que permeten definir els escenaris i avaluar-ne els riscos, és a dir, que inclouen tots els elements estructurals descrits.

- HAZOP. Es basa en una sistemàtica forta que consisteix a dividir el procés en nodes i després identificar desviacions obtingudes mitjançant la combinació de paraules guia amb variables de procés. A partir de les desviacions es desenvolupen els escenaris.
- ZHA. Es basa en la identificació sistemàtica d'aquells perills que, en cas d'alliberar el seu potencial de manera no desitjada, donaran lloc a un accident. Els escenaris es desenvolupen a partir de determinar què ha de succeir per tal que els perills potencials es manifestin efectivament.
- FMEA. Es basa en la identificació sistemàtica de possibles fallades en un producte, procés o sistema. A partir de definir les possibles fallades s'avaluen les conseqüències que aquestes provoquen.
- PRORA. Es basa en la descripció dels processos pas a pas i l'avaluació de cadascun d'ells identificant els possibles errors i fallades que es poden donar per definir els escenaris.

Moltes vegades, aquestes metodologies proporcionen una columna vertebral per a un procés complet d'identificació i avaluació de riscos.

4.7.2. Casuístiques

El caràcter principal d'algunes metodologies consisteix a centrar-se en la identificació detallada de les causes dels escenaris. Les metodologies més rellevants són:

- FTA o arbre de fallades. Es basa en una anàlisi gràfica deductiva que descriu la seqüència de causes i, emprant lògica booleana, com es relacionen entre elles fins a arribar a l'esdeveniment final.
- Diagrames d'espina de peix o *Ishikawa*. És un mètode gràfic que es defineix a partir de considerar diferents categories i classificar les diferents causes en aquestes categories. Les causes es defineixen mitjançant una pluja d'idees.
- Cinc perquè. És una tècnica senzilla i iterativa que consisteix a preguntar "Per què?" cinc vegades (o més) fins a trobar la causa arrel.

Pel seu enfocament, aquestes metodologies es poden emprar com a complementàries a les generalistes per descriure i entendre amb més detall les causes que condueixen a situacions no desitjades en els escenaris especialment rellevants.

4.7.3. Basades en les conseqüències

A continuació, es considera que les metodologies se centren a descriure les conseqüències d'un escenari:

- ETA o arbre d'esdeveniments. És una representació gràfica de les possibles conseqüències d'un esdeveniment iniciador segons la resposta dels sistemes de seguretat

o les condicions que es donin. Serveix per determinar totes les possibles conseqüències finals. Com a nota, la combinació de l'arbre de fallades i d'esdeveniments (FTA-ETA) es coneix com a metodologia de llaç de coll (*bow-tie*).

- Modelatge de conseqüències. Utilitza models i simulacions per predir l'abast físic i l'impacte de les conseqüències físiques dels esdeveniments, per exemple, radiació, ones de sobrepressió, projecció de fragments i dispersions tòxiques, permeten establir la severitat de l'esdeveniment en funció dels límits establerts per a cada efecte.

4.7.4. Reducció del risc

Aquestes metodologies s'empren per justificar tècnicament com afecten les mesures de seguretat que es defineixen a la reducció del risc d'un esdeveniment. Eviten que el criteri es basi en la percepció o sigui aleatori en funció de l'escenari que es plantegi.

- LOPA. És una metodologia semiquantitativa que avalua si les capes de protecció existents són suficients per reduir un risc fins a un nivell acceptable. Combina la probabilitat d'un esdeveniment iniciador amb l'eficàcia de les mesures de seguretat.
- SIL. Es basa a establir el nivell d'integritat que requereix un sistema instrumentat de seguretat (SIS) per assolir l'objectiu de reducció de risc definit.

4.7.5. Acceptació del risc

Finalment, es descriuen les metodologies centrades en l'acceptació del risc. Aquestes metodologies es caracteritzen especialment per centrar-se en els paràmetres que porten a considerar un risc com a acceptable o no acceptable.

- Matriu d'acceptació del risc. És una metodologia clàssica per definir l'acceptació del risc en funció d'una combinació de gravetat i freqüència.
- Valor de risc. Els factors de risc es quantifiquen en una escala i després es combinen els valors de diferents factors per obtenir un valor únic final. Es predefineixen els límits dels valors finals potencials, que defineixen les categories de risc potencial. Per tant, el valor final defineix directament un nivell de risc, per exemple, els criteris RPN d'un AMFE.
- AQR. Calcula numèricament la probabilitat i magnitud de les conseqüències i estableix mapes de risc al voltant de la localització de l'esdeveniment. L'acceptabilitat del risc es basa en els contorns de risc individual i/o en les corbes F-N de risc social.
- Llista de comprovació. Es basa a definir un conjunt de preguntes i respondre-les sistemàticament. En molts casos les llistes de verificació tenen respostes tancades i s'estableix prèviament què succeeix en cas que la resposta sigui una o una altra, normalment és necessari que totes les respostes siguin unes determinades per tal de considerar el risc acceptable.

Entendre l'enfocament de cada metodologia permet una integració eficaç i pragmàtica. També, permet definir un sistema de gestió eficient que utilitza el potencial de cada metodologia, només quan és necessari, i aprofundeix en els aspectes que s'identifiquen com a rellevants.

4.8. Gestió de riscos

Finalment, es presenta breument un enfocament esquemàtic per a un sistema d'identificació, avaluació i gestió de riscos.

4.8.1. Fase 1. Identificació de perills

La primera fase per gestionar eficaçment els riscos consisteix a reconèixer els perills, l'objectiu principal és assegurar que tots els perills s'identifiquen i aborden de manera efectiva abans de permetre l'inici d'una activitat.

Les metodologies més efectives per buscar perills consisteixen en llistes de comprovació destinades a cobrir les àrees potencials on poden sorgir aquests. En conseqüència, la metodologia d'escaneig i identificació rellevant es basarà en un conjunt de llistes de verificació estructurades.

L'avantatge d'utilitzar llistes és que garanteixen un enfocament sistemàtic i una revisió d'àrees capaces de tenir un paper rellevant per a la seguretat, salut i medi ambient. El principal desavantatge és que quan una font de perill potencial no s'aborda en una llista, no s'avalua. La selecció de camps i l'estructura de les llistes de verificació, així com el tipus de respostes necessàries, són fonamentals per garantir una exploració exhaustiva dels perills.

L'enfocament de risc en aquesta etapa és determinista, per tant, les mesures de seguretat es defineixen en funció de la presència única d'un perill.

Les llistes de comprovació donen lloc a metodologies específiques reconegudes com per exemple les següents:

Un permís de treball normalment es basa en una llista de comprovació i té l'objectiu de garantir que tots els perills s'han identificat i gestionat correctament abans d'iniciar un treball.

Normalment, inclou un arbre de decisions on alguns aspectes a considerar depenen de les respostes que es donen a temes més generals, com una mena de sistema expert que condueix a conclusions finals i permet definir les mesures a adoptar per garantir un treball específic segur.

Les metodologies LOTOTO es basen a identificar sistemàticament perills o fonts d'energia i després bloquejar-les, etiquetar-les i provar-les. Per aquest fet, les energies es poden incloure en una llista de comprovació i assegurar que es tenen totes en compte.

En seguretat de màquines, és freqüent disposar de llistes de comprovació per establir tots els requisits que una màquina ha de tenir abans d'autoritzar-ne el funcionament.

4.8.2. Fase 2. Avaluació de riscos

La segona fase per gestionar eficaçment els riscos consisteix a avaluar-los.

A diferència de la fase 1, on les metodologies es basen en un enfocament determinista del risc, en la fase 2 s'aplica un enfocament normalment probabilístic. Això vol dir que les metodologies han de proporcionar com a objectiu principal una clara qualificació de risc.

Aquest objectiu s'aconsegueix comparant els resultats de l'avaluació amb els criteris d'acceptació del risc definits essencialment considerant una combinació de freqüència dels esdeveniments i gravetat de les conseqüències.

Tenint en compte que les metodologies de la Fase 2 tenen un enfocament probabilístic, requereixen la definició d'escala de gravetat i probabilitat que defineixin el nivell de risc i, juntament amb un criteri d'acceptació del risc, ajudin finalment a determinar si els riscos són acceptables o no.

Exemples de metodologies de la Fase 2 són HAZOP, FMEA, ZHA, Document de protecció contra explosions, PRORA i AQR.

4.8.3. Fase 3. Garantia de riscos

La tercera i última fase de la columna vertebral de la gestió de riscos se centra en el fet que després d'assolir un nivell de risc acceptable, aquest nivell s'ha d'assegurar durant la vida útil del procés, la instal·lació o l'equip.

En aquest sentit, cal assegurar que les mesures de seguretat definides estan implementades abans de l'inici de l'activitat i que segueixen en un estat operacional efectiu durant tota la vida del procés, de la instal·lació o de l'equip, incloent-hi fins al final del seu desmantellament.

En relació amb el segon punt, el concepte bàsic és que durant la vida d'un procés, equip, instal·lació o organització es produeixen canvis. Els canvis significatius, normalment, provoquen una revisió dels estudis de risc i la seva adaptació, això no obstant, hi ha canvis de menor magnitud que inicialment poden semblar poc rellevants i ser-ho.

Les metodologies que normalment es consideren en la fase III són les revisions prèvies a la posada en marxa, les revisions periòdiques d'avaluació de riscos, les auditories d'integritat de seguretat i la gestió dels canvis (MoC). En molts casos es basen en llistes de comprovació estructurades, tal com s'ha descrit per un permís de treball per exemple. En aquest sentit, és fonamental, l'actualització continuada i sistemàtica de la documentació dels processos, actius, operacions i procediments, per tal de garantir que la informació tècnica i operativa descriu de manera fefaent l'estat actual de les instal·lacions i dels processos.

4.9. Resum

A tall de resum, la taula de l'Annex C mostra les característiques principals dels mètodes d'anàlisi de riscos més habitualment emprats.

5. Gestió del coneixement i la competència

5.1. Introducció

La seguretat de procés és una disciplina multidimensional que no pot confiar exclusivament en la tecnologia, els sistemes de control o les normatives. Els incidents més greus acostumen a ocórrer no per fallades tècniques aïllades, sinó per deficiències en la gestió del coneixement, en la competència operativa o en la transmissió de la informació crítica. En altres paraules, el factor humà és clau.

Les persones que operen, mantenen, dissenyen o gestionen processos industrials han de disposar no només d'informació, sinó de coneixement rellevant, comprensió del context i habilitats pràctiques per actuar amb eficàcia. Aquesta combinació només s'assoleix mitjançant un sistema actiu de gestió del coneixement i desenvolupament de la competència. No n'hi ha prou amb formar, cal assegurar que la informació es transforma en acció segura i eficient.

L'experiència mostra que moltes organitzacions tenen el coneixement disponible en algun lloc — informes, bases de dades, caps experimentats— però no estructurat ni fàcilment accessible. Altres vegades, la informació és present, però no arriba a temps o no és entesa per qui ha de prendre decisions. La gestió del coneixement i la competència és, per tant, un element fonamental del sistema de gestió de la seguretat de procés, i ha d'estar integrat amb la resta d'elements.

5.2. Registre d'incidents i lliçons apreses

Els incidents són, paradoxalment, una de les fonts més riques de coneixement tècnic i organitzatiu. Cada desviació del funcionament esperat és una

oportunitat per comprendre millor el sistema, identificar vulnerabilitats, i prevenir futurs errors. Ara bé, per convertir incidents en aprenentatge cal una estructura, una metodologia i una cultura que ho permeti.

Un sistema madur de registre d'incidents hauria de recollir:

- Incidents amb conseqüències reals.
- Quasi incidents (“near misses”).
- Anomalies operatives repetitives.
- Comportaments insegurs.
- Errors administratius que podrien tenir implicacions de seguretat.

És important evitar el biaix que porta a registrar només el que “fa mal” o “costa diners”. Incidents aparentment menors poden revelar patrons perillosos, com ara mals hàbits operatius, fallades en la comunicació entre torns, o desviacions sistemàtiques no detectades pels sistemes de control.

La investigació d'incidents ha de ser rigorosa però proporcionada. No tots els casos requereixen una anàlisi en profunditat, però sí una reflexió sistemàtica. Algunes eines útils inclouen:

- El mètode dels “5 perquè”.
- Arbres de fallades (*fault trees*).
- Anàlisi de barreres (*bow-tie*).
- Model del formatge suís (*Reason's model*).
- L'anàlisi d'errors humans (*Human Error Analysis*).

L'objectiu final és obtenir lliçons aplicables i duradores. Per això, cal documentar-les en un llenguatge clar, il·lustrar-les amb imatges o esquemes, i assegurar-se que es comuniquin de manera efectiva als grups afectats. En aquest sentit, és recomanable:

- Incloure-les en formacions i sessions de reforç.
- Crear un repositori digital consultable, transversal per a tots els departaments i actualitzat.
- Associar les lliçons apreses a perills específics (per exemple, pressió, inflamabilitat, reaccions químiques).
- Catalogar-les, per exemple, segons s'hi ha perdut contenció d'una matèria perillosa o no i, en aquest cas, quin volum.
- Vincular-les a procediments operatius o canvis de pràctica.

Les millors organitzacions van un pas més enllà: comparen els seus incidents amb els de les altres indústries mitjançant bases de dades externes (p. ex., IChemE, CSB, eMARS) i analitzen si podrien ocórrer en el seu context. Aquest procés, conegut com a “aprendre sense haver de patir”, és una de les millors formes de prevenir accidents.

Una pràctica recomanada és designar una persona “responsable de lliçons apreses” o una petita comissió multidisciplinària que vetlli per la integració d'aquest coneixement en formació, procediments i sistemes de gestió. És important que aquesta comissió comparteixi informació periòdicament amb altres actors de la seguretat de procés, com podrien ser, per exemple departaments o unitats de procés, de manteniment o de projectes. També és útil establir indicadors com ara percentatge d'incidentes analitzats, nombre de lliçons compartides, o grau d'implantació de les accions correctives.

5.3. Formació i capacitació del personal

La competència no és sinònim de coneixement teòric. Inclou sabers, habilitats i actituds. Per això, la formació en seguretat de procés ha d'anar més enllà de la transmissió d'informació i ha de promoure una comprensió profunda dels perills, una actitud crítica davant les desviacions i una capacitat pràctica per actuar en situacions no rutinàries.

Els elements clau d'un sistema de capacitació sòlid inclouen:

a) Anàlisi de necessitats de competència:

Cada rol (operador, tècnic de manteniment, supervisor, enginyer de procés, contractista...) ha d'assolir un nivell de coneixement adaptat a les seves responsabilitats. Per exemple:

- Un operador de planta ha de reconèixer senyals d'inestabilitat del procés.
- Un mantenidor ha de saber identificar fonts d'ignició en atmosferes inflamables.
- Un supervisor ha de saber analitzar riscos associats a una tasca no rutinària.

b) Matrius de competència i plans individuals de formació:

Les matrius especifiquen, per cada posició:

- Els temes rellevants (p. ex., inflamabilitat, toxicitat, protecció contra sobrepressió).
- El nivell requerit (coneixement bàsic, aplicació pràctica, presa de decisions).
- Els mecanismes de validació (examen, observació, simulació).
- La freqüència de renovació.

c) Disseny per instruccions adaptat:

La formació efectiva combina diversos formats:

- Mòduls digitals interactius (*e-learning*s, microformacions).
- Sessions presencials amb casos reals.
- Visites guiades a la planta amb explicació de punts crítics.
- Tallers pràctics i simulacres.
- Simulació d'escenaris d'emergència.

Cal considerar la diversitat del personal: idiomes, nivells educatius, experiència prèvia. Per exemple, un mòdul de seguretat per a subcontractistes hauria d'utilitzar un llenguatge senzill, exemples visuals i avaluacions bàsiques però clares.

d) Avaluació rigorosa i traçabilitat:

Les competències adquirides s'han de verificar amb eines apropiades:

- Qüestionaris escenificats.
- Simulació d'errors per veure la reacció.
- Observació de tasques clau amb *checklist*.
- Revisió de decisions preses en situacions reals.

És fonamental mantenir un registre digitalitzat, consultable i vinculat a altres sistemes (gestió de permisos de treball, accessos, planificació de torns). Això garanteix que només personal competent pugui operar en àrees o tasques crítiques.

e) Cicle de millora contínua:

La formació no és un acte puntual. Ha d'estar integrada en la gestió del canvi, en la resposta a incidents i en la millora de processos. Les organitzacions més madures estableixen:

- Revisió periòdica dels continguts.
- *Feedback* dels participants per millorar el disseny.

- Indicadors de resultats com per exemple, reducció d'errors operatius després d'una formació específica.

5.4. Cultura de seguretat i lideratge

La gestió del coneixement i la competència depèn fortament de la cultura organitzativa. Aquesta cultura es construeix al llarg del temps i es reflecteix en les actituds, prioritats i comportaments diaris. Un sistema formal pot quedar en paper mullat si no hi ha una cultura que el sostingui i un lideratge que l'impulsi.

a) Lideratge visible i actiu:

Els líders han de ser els primers a participar en formacions, revisar lliçons apreses i aplicar els principis que promouen. Quan un supervisor llegeix i comenta un incident rellevant en una reunió d'equip, està fent cultura. Quan un directiu prioritza una sessió de formació malgrat la pressió de producció, envia un missatge clar: el nivell de competència personal és clau.

b) Cultura d'aprenentatge i no de càstig:

Els errors operatius s'han d'analitzar com a fonts d'aprenentatge, no com a ocasions de sanció immediata. La "cultura justa" implica distingir entre:

- Error no intencionat, per exemple, una confusió per formació insuficient.
- Conducta temerària, per exemple, ignorar deliberadament una norma.
- Actitud negligent o dolosa.

Aquesta distinció és vital per fomentar la comunicació oberta i evitar que els problemes s'ocultin.

c) Espais i rituals d'aprenentatge:

Establir espais periòdics per compartir experiències, debatre casos reals o actualitzar coneixements ajuda a institucionalitzar l'aprenentatge. Alguns exemples:

- “Cafès de seguretat” mensuals.
- Minut de seguretat a l'inici de les reunions.
- Jornades anuals temàtiques, per exemple, sobre atmosferes explosives.
- Reconeixement a empleats que han fet aportacions significatives, per exemple, han identificat un perill no detectat.

d) Promoció del coneixement col·lectiu:

El coneixement sovint està fragmentat. Cal fomentar xarxes internes (per exemple, grups d'experts en sistemes de seguretat, corrosió o gestió de residus) i espais de transferència entre plantes, torns i funcions. També és recomanable documentar el coneixement tàcit abans de la jubilació de personal clau, mitjançant entrevistes estructurades o programes de mentoria.

e) Integració amb altres processos:

Una cultura d'aprenentatge s'enforteix quan la competència i el coneixement estan integrats amb altres àrees:

- Qualitat. Per prevenir errors de procediment.
- Recursos humans. Per planificar el desenvolupament professional.
- Enginyeria (projectes i manteniment): per assegurar que els dissenys nous incorporen lliçons apreses.
- Salut laboral. Per tenir una visió holística del risc.

5.5. Reflexió final

La seguretat de procés requereix un ecosistema viu de coneixement, competència i cultura. No es tracta només de formar, registrar o analitzar. Es tracta de construir una organització capaç d'aprendre, d'adaptar-se i de transmetre el coneixement de manera efectiva. Les empreses que aconsegueixen això tenen menys incidents, responen millor als imprevistos i retenen millor el talent. La gestió del coneixement i la competència no és una despesa: és una inversió crítica en la resiliència i sostenibilitat de l'organització.

6. Cicle de vida de la seguretat de procés

6.1. La gènesi d'un projecte i el seu cicle de vida

Un projecte consisteix en una inversió que uns promotors fan per a desenvolupar o modificar un sistema productiu amb una intenció concreta lligada a un cas de negoci. La seva evolució en el temps es gestiona típicament per mitjà d'una fase d'estudi, que consisteix a justificar la inversió requerida definint la millor opció tècnica, una altra d'implementació, que inclou el disseny de detall i la construcció del sistema operatiu, i, finalment, una d'operació, que inclou el comissionat, la posada en marxa i l'operació del sistema productiu. Més enllà de la vida útil hi hauria la fase de descomissionat i remediació que no es tractaran.

Per a projectes d'envergadura, la fase d'estudi se sol dividir en una fase conceptual on es planteja el cas de negoci a alt nivell i se'n mira de validar el potencial, una de prefactibilitat on es fa una anàlisi comparativa d'opcions i es proposa la més favorable i una altra de factibilitat on, per a l'opció triada, es fa prou enginyeria per a tenir una certesa suficient que el projecte es pot, dur a terme com es planteja.

El diagrama de la figura 6.1 resumeix aquesta estructura típica que pot ser més senzilla, si el projecte és petit, o més completa, si el projecte és molt gran o complex tecnològicament. Es conserven, en alguns casos, les denominacions originals angleses, atès que es tracta d'una terminologia molt estesa.

Un dels elements centrals de la gestió del cicle de vida és la gestió del seu perfil de risc, que es desplega de manera integrada com s'explica a continuació.

6.2. L'anàlisi integrada de risc de projectes i la seguretat de procés

La gestió integrada de riscos del projecte consisteix a identificar, analitzar i avaluar els riscos i les oportunitats dins del context del projecte, de manera transparent, atenent les perspectives tècniques, de negoci i de preparació operacional amb les accions que correspon d'implementar. Normalment, es resumeix com s'indica a la taula següent:

| Fase d'estudi | Implementació | Comissionat i posada en marxa | Operació |
|--|---|---|---|
| Comprendre i avaluar els riscos i les oportunitats per donar suport al procés de selecció d'opcions i definició del cas de negoci. | Integrar accions de gestió de risc a la presa de decisions i implementació del disseny detallat i la construcció. | Cal assegurar el correcte funcionament de tots els sistemes de seguretat i controls establerts per a la gestió de riscos. | Cal assegurar que els coneixements del projecte es vinculen amb el marc de gestió de riscos de l'operació i que els equips d'operació comprenen i estan preparats per gestionar els actius amb base a risc. |



Figura 6.1. Fases d'un projecte industrial

Si bé aquest enfocament és genèric, també aplica als riscos tècnics, és a dir, a aquells associats al procés, és a dir, a aquelles situacions adverses causades per desviacions del procés quan hi ha implicades substàncies perilloses.

A la figura 6.2 s'identifiquen els mètodes d'anàlisi i gestió del risc habitualment emprats en cada fase del projecte, i que es descriuen amb cert detall al capítol 4.

6.3. La selecció d'opcions i el disseny inherentment segur

Segons va evolucionant el procés d'identificació, anàlisi i avaluació dels riscos de la instal·lació també ho fa el seu disseny. A la fase de prefactibilitat, quan l'equip està triant entre diferents opcions de disseny per complir amb els requisits del projecte, és quan hi ha l'opció de triar un disseny inherentment segur per a un escenari de risc particular.

La tria de selecció d'opcions i definició de la solució per assolir un cas de negoci es fa, sobretot, amb criteris de despesa tant de capital, CAPEX, com d'operacions, OPEX, i d'efectivitat del sistema productiu, disponibilitat, utilització,

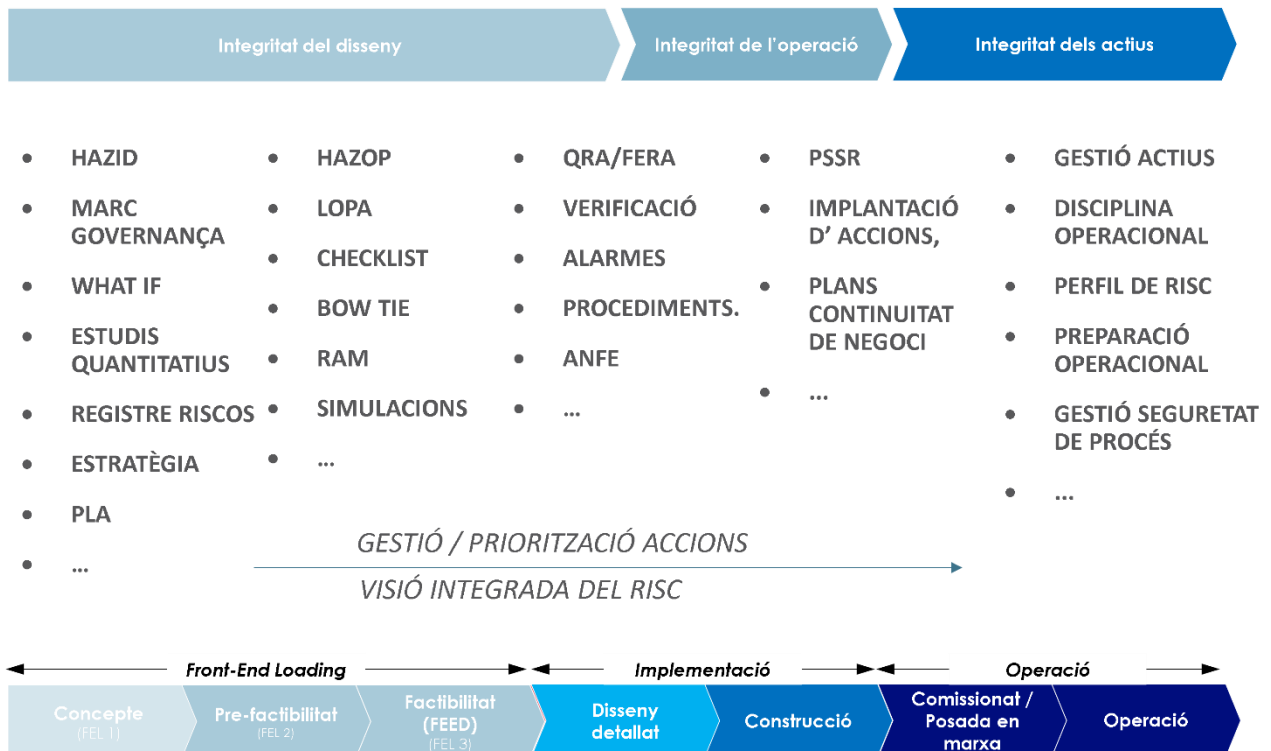


Figura 6.2. Gestió Integral de la Seguretat Industrial a totes les fases de desenvolupament del projecte

coeficient de marxa i qualitat, però també amb criteris d'acceptabilitat de risc.

Cal tenir present que una vegada el disseny de detall i la construcció s'han conclòs, qualsevol solució constructiva posterior implicarà canvis i re-treball i, per tant, una despesa addicional, a més d'ineficiències i una alta probabilitat d'acabar tenint un disseny no optimitzat. És per això que l'equip de projectes ha de tenir molt present, des de l'inici, tant els perills associats al disseny i als productes que es processen com les barreres tècniques que els poden prevenir o mitigar.

6.4. Seguretat instrumentada i barreres tècniques

Les barreres que hom té a l'abast per tal de gestionar riscos i dur-los a un nivell acceptable són diverses, i típicament s'agrupen en les famílies que s'indiquen a la figura 6.3.



Figura 6.3. Diferents capes de protecció (IEC 61.511)

La millor de les opcions és, sens dubte, la d'assegurar que un escenari advers és, simplement, impossible. És a dir, la de canviar el disseny perquè la desviació no pugui tenir lloc. Una vegada aquesta opció es descarta, pel cost que suposaria o per la naturalesa mateixa del sistema productiu, es poden fer servir mitjans mecànics passius (per exemple una vàlvula de seguretat), sistemes instrumentats de seguretat, la resposta del sistema bàsic de control, alarmes amb resposta d'operadors o d'altres de menys entitat.

La tria d'aquestes barreres es fa tenint present la freqüència de l'element iniciador de l'escenari advers i la severitat de la conseqüència que se'n derivaria si no hi hagués cap barrera que funcione. Perquè una barrera tingui crèdit ha de ser una barrera de protecció que per si mateixa eviti la consecució de l'esdeveniment, ha de ser auditable i la seva funcionalitat s'ha de poder mantenir.

D'entre totes aquestes barreres, un tipus que té molta entitat són els enclavaments associats al sistema instrumentat de seguretat, paral·lel i independent del sistema bàsic de control de procés. Típicament, aquest sistema té una integritat més alta que la resta, amb factors de reducció de risc de fins a 1.000, segons els dissenys, i està molt ben parametritzat a estàndards reconeguts com l'IEC 61511 o 61508.

En el context del cicle de vida del projecte, la definició d'aquestes barreres es fa abans d'un HAZOP i durant la fase de factibilitat, quan es fan els P&IDs per primera vegada. L'assignació de la seva integritat (RRF) es fa per mitjà d'un estudi LOPA que té presents tots els escenaris pels quals la funció instrumentada és barrera.

Aquesta mateixa anàlisi es fa segons el disseny, els P&IDs i la matriu d'enclavaments i funcionament esperat de l'actiu. En acabar el disseny de detall,

el llistat final de funcions instrumentades de seguretat hauria de ser complet.

Per a cada funció instrumentada es defineix un full de requisits i es verifica que el disseny final, tenint present tots els elements que la componen, des del sensor al cablejat de senyal, el controlador, el cablejat de força fins a l'element actuator, té la fiabilitat requerida. Se solen assignar nivells d'integritat de seguretat (SIL) per a cadascun d'ells.

La suma conjunta de la fiabilitat de totes les funcions instrumentades aplicades com a barrera a un mateix escenari no pot superar la del sistema instrumentat de seguretat, que sol ser SIL3. Si el nivell de risc residual assolit després d'implementar les barreres encara no és acceptable, l'equip de disseny n'ha de trobar d'altres, o canviar el disseny, per tal que els escenaris adversos siguin menys probables.

6.5. La preparació operacional i la transició a operacions de projectes

Totes les barreres que s'inclouen a la fase de disseny s'han d'implementar amb èxit i demostrar que funcionen abans d'entrar a la fase d'operació. Aquest procés es fa típicament per mitjà de la preparació operacional, d'una manera general, i del procés de comissionat, en particular, que consisteix a validar la funcionalitat de tots els sistemes, inclosos els de seguretat, i assegurar que s'han comprat, construït, instal·lat i que funcionen exactament com es preveia.

En aquest pas s'ha de provar en el seu conjunt i de manera separada que la resposta de totes les funcions instrumentades, amb els seus enclavaments associats, és la correcta. Aquesta mateixa prova de funcionalitat es tornarà a fer durant l'operació i segons les indicacions del

fabricant per tal de mantenir el nivell d'integritat de seguretat requerit per disseny.

Aquestes proves també s'han de fer després d'una intervenció de manteniment a la planta. Son part d'un procés de revisió de la seguretat a la prearrencada, similar al de comissionat i en funció de l'entitat de la intervenció o canvi que s'hagi fet.

Durant el procés de comissionat, qualsevol *bypass* dels enclavaments, siguin del sistema bàsic de control o del de seguretat, necessaris per a dur a terme les proves, s'ha de registrar i gestionar de manera diligent, restaurant-lo abans d'iniciar l'arrencada i la producció pròpiament dita.

Al capítol següent s'aprofundirà en la gestió del risc durant la fase operativa de la planta.

6.6. La gestió de canvi durant el cicle de vida del projecte i les bases per a una operació segura

Tant durant les fases de desenvolupament del projecte com a la fase d'operació, la gestió del canvi és clau per mantenir el perfil de risc de la instal·lació dins el criteri d'acceptabilitat establert.

A les fases d'estudi, una vegada s'hagi concretat un disseny i validat amb estudis de risc, les variacions que s'hi facin s'han d'avaluar de nou per mitjà d'una gestió de canvi que les analitzi des d'una perspectiva de seguretat de procés. Aquesta revisió es fa per evitar que s'introdueixin nous modes de fallada que desencadenin escenaris de risc per als quals no hi ha barreres suficients o bé que anul·lin l'efectivitat d'alguna de les barreres amb les quals el disseny ja compta.

A la fase de construcció i instal·lació es poden fer errors que s'han d'evitar amb processos

d'assegurament de qualitat i detectar-los i corregir-los per mitjà d'un procés de canvi. En el pitjor dels casos, alguns d'aquests errors, que també poden ser de disseny, es detecten durant el precomissionat i el comissionat al moment de validar el funcionament dels sistemes, incloses les barreres de protecció.

A la fase d'operacions una situació similar de canvi es pot donar si es fa una modificació de la planta, però, sobretot, quan hi ha barreres que es degraden, sigui per falta de manteniment preventiu (per exemple, no es fan les proves funcionals amb la regularitat necessària), sigui per avaries no resoltes al sistema.

Davant de tots aquests escenaris de canvi, és molt important, primer de tot saber on som, és a dir: comunicar el cas, entendre el canvi o la situació degradada, analitzar-la i validar el que es pot fer per evitar que la instal·lació funcioni amb un nivell de risc inacceptable. Després d'això caldrà analitzar els riscos de nou i proposar accions per tal que el perfil de risc conjunt de la instal·lació es mantingui a un nivell acceptable.

La disciplina a l'hora de gestionar els canvis a l'actiu és un dels pilars d'una operació segura que s'ha d'acompanyar amb altres elements com ara l'anàlisi d'incidents, d'efectivitat de barreres, la gestió i l'assegurament de la integritat i, en general, el principi de mantenir l'operació com a mínim amb el nivell de seguretat que s'ha definit en el disseny original.

7. Operacions segures i disciplina operativa

7.1. Introducció

L'execució d'operacions segures és una activitat que requereix una gran disciplina. Això és especialment cert en les operacions diàries, sovint repetitives i tedioses, que es perceben com a baix risc perquè es realitzen moltes vegades durant l'any.

Són molts els exemples d'accidents greus que s'han produït a conseqüència d'activitats rutinàries habituals i molt conegudes per qui les executa que, en algun moment, es desvien del procediment o que amagaven perills que no han estat correctament identificats malgrat la llarga experiència.

Al recull anual de l'EPSC d'aprenentatge d'incidents (2017-2023) es troben nombrosos casos relacionats amb l'operativa d'instal·lacions. Per exemple, la ruptura de mànegues flexibles (incident #1), inspeccions en espais confinats (incident #5) o treballs en calent en atmosferes explosives (incident #13).

L'eina clau i pedra angular de l'execució d'operacions segures són els Procediments Normalitzats de Treball i els permisos de treball. Les inspeccions pertinents i un adequat manteniment preventiu són elements per mantenir els equips en un estat de funcionament segur.

7.2. Procediments Normalitzats de Treball (PNT)

Els Procediments Normalitzats de Treball (PNT), SOP *Standard Operational Procedure* en anglès, són documents que descriuen de manera detallada i pas a pas com dur a terme una tasca de

manera consistent, segura i eficient. En el context de la seguretat de processos, són una eina fonamental per reduir la variabilitat en l'execució d'activitats i prevenir incidents que podrien posar en risc les persones, les instal·lacions o el medi ambient.

Un bon PNT ha d'incloure la descripció de l'activitat, l'objectiu, els recursos i els equips necessaris, les condicions de seguretat, els passos seqüenciats, els possibles perills associats i les accions de resposta davant desviacions. Ha d'estar redactat en un llenguatge clar, adaptat al nivell de coneixement de l'operador o tècnic que l'ha d'aplicar.

Des del punt de vista de la seguretat, hi ha diversos aspectes essencials a considerar:

1. Identificació de riscos associats a cada pas. Cal que el PNT integri l'anàlisi de riscos, indicant clarament les etapes que poden suposar perill, i quines mesures de control s'hi apliquen (per exemple, ventilació forçada, purga de línies, ús de sistemes antideflagrants, etc.).
2. EPI (Equips de Protecció Individual) requerits. Ha de detallar els Equips de Protecció Individual obligatoris per a la tasca (guants, ulleres, protecció respiratòria, roba ignífuga...), diferenciant entre els bàsics i els específics pel risc.
3. Comprovacions prèvies i posteriors. Incloure verificacions que assegurin que l'equip o instal·lació es troba en condicions segures abans de començar i també després d'acabar (per exemple, estat de vàlvules, aïllaments, senyalització de l'àrea...).
4. Criteris d'interrupció i notificació. És fonamental definir quan s'ha d'interrompre l'activitat per condicions insegures i com escalar la notificació a supervisors o departament de manteniment o enginyeria.

5. Formació i accés. Els PNT només són efectius si el personal ha rebut la formació adequada i pot accedir fàcilment a la darrera versió del document. A més, és important revisar-los periòdicament i després de qualsevol canvi operatiu.

També és important mencionar que un PNT pot incloure mesures organitzatives que ajudin a evitar errors humans en passos clau. En aquest sentit, es pot establir un breu criteri de prioritats en funció del nivell de risc que pot implicar una operació:

1. Risc baix. Cal mencionar el risc al protocol per tal que l'operador el tingui present.
 - Risc mitjà. L'operador ha de confirmar mitjançant la seva signatura que ha efectuat el pas indicat al protocol.
2. Risc elevat. L'operador ha de confirmar mitjançant la seva signatura que ha efectuat el pas indicat al protocol i el seu supervisor ha d'indicar amb la seva signatura que ho ha comprovat i que el pas s'ha efectuat correctament.

L'ús d'aquestes mesures es recomana que sigui moderat, ja que si se n'abusa es pot generar sobrecàrrega, excés de confiança i, aleshores, es deixen d'aplicar.

Per altra banda, amb la digitalització dels sistemes de control i la implementació de receptes als mateixos sistemes, la capacitat d'efectuar errors humans ha minvat, però cal tenir en compte qui té quins privilegis per interaccionar amb el sistema de control i, per exemple, modificar-ne els paràmetres.

Totes les activitats a realitzar a camp seguiran el concepte d'ordre de treball i es documentaran en l'ordre mateixa o en formularis específics a tal efecte. Seguiran el principi dels quatre ulls quan correspongui, és a dir, amb un executor i un

revisor de l'activitat a camp o in situ que signaran a mesura que s'han realitzat.

En definitiva, els procediments estàndard d'operació no només garanteixen la qualitat de l'activitat, sinó que són una barrera fonamental per evitar errors humans i incidents de seguretat, especialment en activitats rutinàries o d'alta perillositat.

7.3. Permisos de treball

Els permisos de treball són els documents fonamentals que s'empren per a l'autorització de l'execució d'una feina específica a dur a terme per una persona o un equip de persones on es detallen els riscos potencials, així com les mesures de seguretat necessàries a prendre abans i durant l'execució de la tasca. La indústria química, a conseqüència dels riscos potencials associats a l'activitat, pot requerir permisos de treball específics per executar una ordre de treball determinada. Així, un permís de treball pot ser:

- General. Aquells que, no essent habituals, no impliquen cap risc específic associat.
- De treball en alçada i/o ús de grua. Especialment a considerar a partir de treballs per sobre d'1,80 m d'alçada i, en el cas de grua, per conèixer-ne les característiques funcionals.
- Treball en calent (EX). Quan el treball impliqui possibles punts d'ignició en zones classificades amb risc d'atmosfera explosiva.
- En espai confinat. Quan els treballs es fan a l'interior d'espais confinats amb risc per classificació i potencial atmosfera no respirable per falta de ventilació.
- En estació transformadora.
- D'obertura d'equips i línies.

En tots els casos és important el seguiment del principi de Bloqueja – Etiqueta - Prova normalment dit el LOTOTO, de l'anglès *Lock Out, Tag Out, Try Out*.

A partir d'aquí, les empreses poden definir les combinacions de permisos que siguin més útils per a l'execució de les ordres de treball de manera segura. Per exemple, obertura d'equips i de línies en calent en alçada.

La selecció i ús adequat d'EPI és molt important com a part integral del permís, així com una correcta valoració de riscos, realitzada i formalitzada a camp amb el personal responsable de les instal·lacions i aquell que farà la tasca, tots amb el coneixement tècnic suficient per assegurar que no es negligeix cap risc potencial. Aquesta etapa és essencial pel bon desenvolupament del treball que si no es realitza correctament és una font d'incidents greus. Es poden definir treballs d'alt risc que requereixen revisions i aprovacions a un nivell superior a l'esmentat.

Altres aspectes que han d'estar en el manual de procediments o tenir el seu procediment durant l'execució del treball són la correcta senyalització de la zona de treball, la comprovació de les mesures definides en els permisos i el seguiment del treball, així com les pertinents renovacions del permís per assegurar que les condicions de seguretat es mantenen en el temps. L'entrega d'instal·lació un cop finalitzat el treball s'ha de realitzar correctament, assegurant:

- L'ordre i la neteja correctes de la zona.
- Les connexions de línies i d'equips, tant d'energies com de procés, són les adequades.
- Els equips i les instal·lacions estan operatius i poden treballar de amb seguretat.

L'entrega de les instal·lacions es farà sempre a camp i mitjançant el principi dels quatre ulls en totes les etapes que es considerin crítiques i se

signaran els permisos per les persones autoritzades o delegades per fer-ho. Normalment, recauen en la figura del supervisor de manteniment i el supervisor de l'àrea on s'ha dut a terme l'activitat.

Cal destacar que els treballs no sempre són executats pel personal que coneix la instal·lació i els seus riscos. Quan la feina és feta per personal extern, siguin autònoms o empreses de manteniment, es requereixen controls addicionals de les feines, així com explicacions més detallades dels plans de treball a fer.

Els permisos de treball estan sotmesos a una normativa legal específica que s'ha de complir. Aquesta és la Llei 31/1995, de Prevenció de riscos laborals, el RD 2177/2004 pels treballs en alçada, el RD 1215/1997 disposicions mínimes de seguretat i salut, les Notes tècniques de prevenció 562, el Sistema de gestió preventiva, les Autoritzacions de treballs i els NTP 30 Permisos de treballs especials.

Finalment, es realitza el registre i informe final de l'ordre de treball que és essencial no només pel tancament pel que fa a costos i recursos emprats, sinó també com a element de coneixement futur.

L'ús de les noves tecnologies fa que cada cop més els sistemes de gestió del manteniment es puguin interconnectar amb altra informació tècnica, com ara manuals o P&IDs intel·ligents, perquè els operaris puguin tancar les ordres de manteniment i anotar els resultats obtinguts de l'execució de les ordres de treball en els seus aparells portàtils (*hand-held devices*). La incorporació de noves tecnologies s'ha de veure com una millora de l'eficiència en els processos de manteniment dels béns de l'empresa i dependrà del grau de maduresa en la gestió del manteniment de l'organització.

7.4. Manteniment preventiu i inspeccions d'elements de seguretat

És desitjable, per no dir imprescindible, disposar d'un pla de manteniment preventiu (PMP) per assegurar el bon funcionament de les instal·lacions i dels equips per tenir una planta amb un estat operacional adequat i una freqüència baixa o molt baixa de parades productives per mal funcionament de les instal·lacions.

En el cas de la seguretat industrial, aquest PMP és essencial per assegurar el bon funcionament dels equips i evitar desviacions dels processos que puguin conduir a accidents greus.

Actualment, es disposa d'una gran varietat de programari específic GMAO (Gestió de manteniment assistida per ordinador) que permet planificar i assignar les tasques de manteniment i de recanvis a ordres de treball associades a equips. Aquestes eines ajuden molt en la gestió del PMP, però es requereix una metodologia per identificar aquells equips que seran més crítics i requeriran plans de manteniment específics.

Es recomana l'ús de metodologies específiques per definir el punt crític dels equips a fi de garantir-ne la seguretat, fiabilitat i disponibilitat prioritzant correctament els recursos de manteniment. Aquestes metodologies poden ser des d'anàlisis qualitatives simples, FMEA, en les seves diferents variants, fins a anàlisis RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety*) més complexes. Es pot ampliar el coneixement respecte a aquestes eines seguint el document "EFNMS Maintenance Body Of Knowledge".

En tots aquests casos, els instruments i equips identificats com a crítics en l'àmbit de seguretat

de procés han de tenir PMP específics que inclouran qualificacions periòdiques.

Formaran part d'aquests PMP i en relació amb la seguretat de procés:

- Calibratges d'instruments crítics.
- Manteniment dels sistemes instrumentats de seguretat (*SIS - Safety Instrumented System*). Mitjançant protocols de requalificació de cadascuna de les SIS que el conformen, com ara nivells o cabalímetres.
- Manteniment de les provisions de seguretat mecànica (*MSP - Mechanical Safety Provisions*). Normalment també estan subjectes a reglamentació específica. Per exemple, comprovació de les vàlvules de seguretat.

En les proves en què s'analitzen llaços de control de seguretat de procés cal revisar que el sistema funciona independentment del sistema de control de procés i que, en cas que s'hagi substituït algun component del SIS, se'n revisi el disseny, així com la seva verificació a camp.

Adicionalment, segons la categorització del llaç de nivell d'integritat de seguretat (*SIL - Safety Integrity Level*) es requerirà una fiabilitat més gran i, per tant, uns requisits superiors.

7.5. Seguretat abans de l'arrencada i gestió de desviacions

Per tal de gestionar adequadament la seguretat abans de la posada en marxa de noves unitats productives, després d'una aturada tècnica o davant de modificacions substancials d'equips o d'instal·lacions, en el marc del procés de control de canvis, és recomanable utilitzar revisions de seguretat prèvies a l'inici de l'arrencada (*PSSR, Pre-Start Safety Review*).

El PSSR és una eina, normalment amb una estructura de llista de comprovació, que permet fer un conjunt de verificacions de seguretat amb l'objectiu de:

- Constatar que les instal·lacions i els equips es troben adequadament muntats o implantats i qualificats, sense desviacions que n'afectin la seguretat.
- Assegurar que els sistemes de seguretat funcionen correctament.
- Revisar l'estat d'accions correctives resultants del control de canvis o qualificació.

Per les arrencades posteriors a la parada d'una àrea productiva, es poden crear models específics de PSSR que tinguin en compte els detalls d'aquesta àrea productiva. És aconsellable disposar d'aquests models i formularis en el sistema de gestió documental de l'empresa.

Qualsevol desviació detectada durant el procés ha de ser reportada amb la seva acció correctora i resolta abans de l'arrencada de la instal·lació.

7.6. Anul·lació de seguretats i gestió d'alarmes

En situacions excepcionals pot ser necessari anul·lar temporalment algun sistema de seguretat, com ara un sensor de nivell màxim en un tanc d'emmagatzematge dissenyat per evitar sobreiximents. Tot i que la solució més segura és interrompre l'ús de la instal·lació mentre el sistema crític estigui fora de servei, no sempre és viable. Per tant, cal avaluar i implementar mesures alternatives que permetin minimitzar el risc potencial durant aquest període.

Aquest principi es pot implementar mitjançant un procediment que, amb el suport d'un formulari o

protocol d'autorització d'anul·lació de seguretats, inclogui les consideracions següents:

- Quan s'executa l'anul·lació.
- Qui l'autoritza i per quin període de temps.
- Identificar l'àrea i l'equip.
- Mesures que es duren a terme, tant procedimentals com alternatives, per assegurar el menor risc possible.

En el cas comentat, anul·lació d'un sensor de nivell màxim, podria considerar-se la presència d'un operari durant el procés de càrrega del tanc i la comprovació del bon funcionament i enclavament dels sistemes de treball del tanc (nivell continu).

Per fer un seguiment acceptable d'aquests casos, es poden usar sistemes com el que ja s'utilitzi per al seguiment de les ordres de treball (GMAO existent), o bé el procediment de control de canvis temporals.

Finalment, un aspecte que cal considerar cada cop més és que, amb la creixent automatització de les plantes químiques, es crea un excés d'informació provocat pel nombre ingent d'alarmes que es poden produir si el control del procés no està ben definit.

La feina dels enginyers de procés i d'automatització ha de centrar-se en la millora dels processos i la definició dels diferents nivells d'alerta i alarma perquè el sistema només alerti de les desviacions importants del procés, per poder garantir una bona gestió dels operadors, tant pel que fa a qualitat com de seguretat.

8. Gestió de crisi i resposta a emergències

8.1. Plans d'emergència i simulacres

La gestió de crisi en la indústria es fonamenta en la planificació preventiva i la capacitat de resposta organitzada un cop activat el pla d'emergència. Els plans d'emergència interior (PEI) i, quan escaigui, els plans d'emergència exterior (PEE) són les eines essencials de què disposen les empreses i les administracions per garantir la seguretat de les persones, el medi ambient i les instal·lacions.

L'article 149.1.29a de la Constitució, va atribuir a l'Estat la competència exclusiva en matèria de seguretat pública. Posteriorment i a causa del desenvolupament de l'estat de les autonomies, la Llei 2/1985, de 21 de gener, va establir un primer marc normatiu d'actuació per a la protecció civil. Aquesta llei estableix, a l'article 5, l'obligació del Govern de crear un catàleg d'activitats que puguin generar emergències i exigeix als responsables de centres on es duguin a terme aquestes activitats comptar amb sistemes d'autoprotecció. L'article 6 faculta el Govern, a proposta del Ministeri de l'Interior i amb informe de la Comissió Nacional de Protecció Civil, perquè pugui fixar directrius bàsiques sobre autoprotecció.

En compliment d'aquesta llei, es va aprovar el Reial decret 393/2007, que conté la norma bàsica dels centres, els establiments i les dependències dedicats a activitats que puguin donar origen a situacions d'emergència. Tot i això, la Generalitat de Catalunya va presentar un requisit d'incompetència contra diversos articles del decret, al·legant invasió de competències autonòmiques en matèria de protecció civil.

El Govern central va respondre el 22 de juny de 2007, defensant que el decret no vulnera competències autonòmiques, encara que va acceptar modificar alguns articles per harmonitzar la legislació estatal amb les

competències exclusives de les comunitats autònomes, d'acord amb la doctrina del Tribunal Constitucional i l'article 149.1.29a de la Constitució, que es va aprovar el Reial decret 1468/2008, de 5 de setembre que modificava el Reial decret 393/2007. Aquest Reial decret 1468/2008, autoritza les comunitats autònomes a establir els seus propis catàlegs d'activitats que puguin generar riscos col·lectius i a definir les obligacions d'autoprotecció corresponents, sempre dins del marc mínim establert per la norma bàsica d'autoprotecció. Actualment, ha quedat derogat "en diferit" pel Reial decret 524/2023, de 20 de juny, que estableix un període transitori de 4 anys per a l'adaptació de les noves exigències.

Així, les comunitats autònomes han desenvolupat normes relatives a la gestió d'emergències, plans d'autoprotecció i els seus registres, catàlegs d'activitats considerades perilloses i els controls administratius. A l'Annex D es mostren les normes relatives a l'autoprotecció agrupades per comunitats autònomes.

Els simulacres són obligatoris i han de realitzar-se almenys un cop l'any. Aquests han de ser realistes, incloure escenaris complexos i avaluar la coordinació entre equips interns i serveis d'emergència externs. És recomanable fer simulacres sorpresa per detectar debilitats operatives.

8.2. Coordinació amb autoritats segons cada comunitat autònoma

La gestió d'emergències a Espanya és competència compartida entre l'estat i les comunitats autònomes. Això implica que cada

territori pot tenir normatives i protocols específics i diferents.

8.2.1. Estructura general

La competència en matèria de protecció civil recau en cada comunitat autònoma, que disposa del seu propi pla territorial d'emergències (vegeu Annex E). A més, cada comunitat autònoma pot aprovar plans especials per afrontar riscos concrets, com ara incendis, inundacions, sismes o altres fenòmens amb un impacte significatiu sobre la seguretat de les persones i els béns.

Tanmateix, en situacions d'especial gravetat o que afectin simultàniament diverses comunitats autònomes, la coordinació pot ser assumida per l'Administració General de l'Estat. En aquests casos, el Ministeri de l'Interior, a través de la Direcció General de Protecció Civil i Emergències, activa el pla estatal general d'emergències per garantir una resposta homogènia, eficient i coordinada en tot el territori afectat.

8.2.2. Quan intervé l'Estat?

La intervenció de l'Administració General de l'Estat es produeix en diferents circumstàncies. D'una banda, quan una comunitat autònoma ho sol·licita expressament, d'altra, quan l'emergència supera la seva capacitat de resposta i, finalment, quan l'afectació incideix en diverses comunitats o en infraestructures crítiques d'interès nacional.

En aquest marc, les empreses han de col·laborar amb les autoritats locals i autonòmiques per garantir la coherència entre els plans d'emergència interior (PEI o PAU) i els plans d'emergència exterior (PEE).

La coordinació interinstitucional és essencial per assegurar una resposta eficaç. Aquesta coordinació implica, entre altres aspectes, la interoperabilitat dels sistemes de comunicació, la designació de punts de contacte i la participació en comitès tècnics de seguiment.

8.3. Recuperació i millora contínua

La fase de recuperació comença un cop controlada l'emergència i té com a objectiu restablir la normalitat amb seguretat. Aquesta fase inclou:

- Avaluació de danys materials, ambientals i humans.
- Suport psicosocial a les persones afectades.
- Restabliment progressiu de les operacions.
- Investigació de l'incident i anàlisi de les causes inicials.
- Comunicació amb les autoritats i la comunitat.

La millora contínua és un principi fonamental de la gestió de seguretat. El cicle planificar-fer-verificar-actuar (PDCA) ha de guiar la revisió dels plans, la formació del personal i la implementació de les mesures correctores.

Les empreses Seveso han d'integrar aquesta millora en el seu sistema de gestió de la seguretat (SGS), tal com exigeix el Reial decret 840/2015. Això implica auditories internes, revisió de procediments i actualització dels escenaris de risc.

8.4. Integració del pla d'autoprotecció en empreses Seveso

Tal com ja s'ha dit anteriorment (vegeu capítol 3) els establiments afectats per la Directiva Seveso III (nivell inferior o superior) tenen, entre altres, les obligacions específiques de:

- Desenvolupar un pla d'autoprotecció segons el Reial decret 393/2007 o, en cas d'existir, la norma que apliqui a la comunitat autònoma on es trobi l'establiment (per exemple, a Catalunya cal seguir el Decret 30/2015).
- Participar en la redacció del PEE amb les administracions públiques.

Aquest pla ha d'estar integrat en l'estructura de l'empresa, amb responsables designats, formació contínua i recursos assignats. També ha d'estar alineat amb els plans municipals i autonòmics de protecció civil.

La interacció amb les autoritats ha de ser fluida i constant, especialment en zones amb alta concentració industrial com ara el Camp de Tarragona, el Corredor de l'Henares o el Pol Químic de Huelva.

8.5. Lliçons apreses

Com ja hem dit moltes vegades al llarg d'aquest opuscle, malauradament els accidents o esdeveniments adversos a la indústria sovint deixen una marca dolorosa com la pèrdua de vides humanes i d'actius, danys al medi ambient o a equips i instal·lacions. Per una altra banda, però, ens permeten aprendre lliçons per millorar els sistemes de gestió de la seguretat que es poden agrupar en cinc àmbits:

1. Comunicació i gestió d'emergències

- La informació a la població i a les autoritats ha de ser immediata, clara i coherent.
- La manca de coordinació entre institucions pot agreujar les conseqüències d'un accident.
- Cal reforçar els sistemes d'alerta, els protocols de comunicació i la formació en simulacres.

2. Condicions de treball i gestió operativa

- Plantilles suficients, equips adequats i una càrrega laboral raonable són factors crítics per prevenir incidents.
- Les operacions crítiques, com les posades en marxa, requereixen controls estrictes de paràmetres i anàlisis de riscos específiques.
- Els sistemes de seguretat automàtics i redundants poden marcar la diferència en la contenció d'una situació anòmala.

3. Impacte regulador i normatiu

- Els accidents han estat motors de canvi normatiu en seguretat de processos i transport de substàncies perilloses.
- Després d'un accident s'ha reforçat la necessitat de sistemes de monitoratge ambiental i de marcs legals més estrictes sobre residus i emissions.

4. Medi ambient i salut pública

- La contaminació industrial pot tenir efectes acumulatius en ecosistemes i salut.
- La manca de vigilància institucional pot permetre pràctiques irregulars amb greus conseqüències ambientals.

5. Transparència i responsabilitat

- La gestió deficient i la corrupció poden multiplicar riscos i dificultar la prevenció.

- Els processos judicials i el debat públic han evidenciat la importància de la responsabilitat ambiental i institucional.

En conjunt, aquests casos mostren que la seguretat de procés no depèn només de la tecnologia, sinó també de la cultura de seguretat, la transparència, el compliment normatiu i la preparació de la societat davant emergències.

9. Tendències i innovació en seguretat de procés

9.1. Introducció

La seguretat de procés és una disciplina en constant evolució. Si històricament va començar aplicant mètodes qualitius com l'anàlisi HAZOP i els sistemes de control tradicionals, per seguir amb els quantitius com l'AQR, avui ens trobem en un punt d'inflexió. La revolució digital, el desplegament massiu de sensors i dispositius connectats o internet de les coses (*IoT - Internet of Things*) i els avenços en intel·ligència artificial (IA) estan transformant el paisatge tecnològic de la indústria de processos.

Aquesta transformació obre noves possibilitats per detectar riscos abans que es materialitzin, per millorar la resposta davant a desviacions i per optimitzar la presa de decisions. No es tracta només d'implementar tecnologia per seguir la moda, sinó de fer-la servir de manera estratègica per reforçar la seguretat, augmentar la resiliència i reduir la incertesa operativa.

Aquest capítol explora les tendències més rellevants en innovació aplicada a la seguretat de procés, amb especial atenció a la digitalització, la intel·ligència artificial i la internet de les coses industrials, IIoT. També es presenten casos d'èxit que demostren com aquestes tecnologies ja estan oferint resultats tangibles.

9.2. Digitalització i eines de seguretat avançades

La digitalització consisteix a transformar processos, dades i fluxos de treball tradicionals mitjançant tecnologies digitals. En el context de la seguretat de procés, significa passar d'un enfocament reactiu a un de proactiu, basat en dades i amb capacitat d'anticipació.

9.2.1. Sistemes de gestió digital de la seguretat

Els sistemes electrònics de gestió de la seguretat (*process safety management digital systems*) permeten integrar:

- Registre i seguiment d'incidents.
- Gestió del canvi amb traçabilitat automàtica.
- Anàlisi de riscos assistida digitalment.
- Control documental i notificació automàtica de revisions.
- Formació i certificació competencial amb enllaç a sistemes de recursos humans.

Aquestes plataformes permeten eliminar buits d'informació, millorar la coherència entre elements del sistema i fer auditories més eficients.

9.2.2. Bessons digitals (*digital twins*)

Els bessons digitals són models virtuals en temps real que reproduïxen el comportament d'un sistema físic. En seguretat de procés, permeten:

- Simular escenaris de desviacions i emergències.
- Avaluar l'impacte de modificacions abans d'implementar-les.
- Fer anàlisis de "què passaria si" amb dades reals.

Els bessons digitals es connecten a dades reals de sensors i sistemes SCADA i de control distribuït (SCD). A més, poden incloure comportament termodinàmic, balanços de massa, dinàmica de fluids, entre d'altres. Aporten, per tant, valor en el disseny, l'operació i el manteniment.

9.2.3. Monitoratge en temps real de riscos

Les eines de monitoratge intel·ligent combinen dades de sensors amb models de risc per generar indicadors dinàmics. Alguns exemples:

- Mapes de risc actualitzats en temps real.
- Alerta quan el risc acumulat supera un llindar, per exemple en zones ATEX.
- Integració amb permisos de treball i gestió de barreres de seguretat, fent servir per exemple, *bow-ties* dinàmics.

Aquestes eines ajuden a visualitzar el nivell de seguretat operativa més enllà de simples lectures de variables.

9.3. Intel·ligència artificial i internet de les coses industrials a la seguretat de procés

La internet de les coses industrials (IIoT) fa referència a la xarxa de sensors, dispositius i sistemes que recullen dades en temps real d'actius físics. Quan aquestes dades s'analitzen amb IA, es pot generar coneixement per anticipar esdeveniments i millorar la presa de decisions.

9.3.1. Aplicacions de la IA a la seguretat de procés

La IA aplicada pot adoptar diverses formes:

- **Aprenentatge automàtic (*machine learning*).** Models que identifiquen patrons i correlacions no evidents entre variables.
- **Sistemes de detecció d'anomalies.** Algoritmes que identifiquen desviacions del comportament normal i alerten de possibles problemes.
- **Models predictius** Que anticipen la probabilitat de fallades o desviacions de seguretat segons l'estat actual del sistema.

- **IA generativa.** Assistents digitals que ajuden a redactar informes, identificar causes probables o proposar accions preventives.

Un exemple és un sistema que analitza la pressió i la temperatura en un reactor i detecta combinacions inusuals que podrien indicar una reacció descontrolada imminent abans que el sistema de control tradicional activi qualsevol alarma.

9.3.2. Sensors intel·ligents i manteniment predictiu

Els sensors intel·ligents proporcionen lectures precises i sovint amb capacitat d'autodiagnòstic. En combinació amb la IA, permeten:

- Detectar vibracions o oscil·lacions que anticipen fallades mecàniques.
- Monitorar condicions de seguretat de barreres com vàlvules, detectors de gas o sistemes d'aigua contra incendis.
- Automatitzar el manteniment segons condicions reals, no segons calendari.

Això augmenta la representació gràfica que il·lustra la relació entre les causes d'un risc, l'esdeveniment i les seves conseqüències amb la fiabilitat operativa i redueix el risc associat a equips degradats o defectuosos.

9.3.3. Visibilitat i transparència operativa

Les tecnologies IIoT i IA permeten compartir en temps real l'estat de seguretat d'una instal·lació amb totes les parts interessades:

- Operadors.
- Supervisors.
- Responsables de seguretat.
- Personal de manteniment.

Aquesta visibilitat comuna millora la coordinació, la resposta i la cultura de seguretat compartida.

9.4. Factors clau d'èxit i reptes

Tot i les oportunitats que ofereixen aquestes tecnologies, cal tenir en compte diversos aspectes per assegurar una implementació reeixida:

a) Qualitat de les dades:

Els models digitals només són fiables si les dades d'origen ho són. Per tant, cal assegurar:

- Calibratge constant dels sensors.
- Bon manteniment dels sistemes de registre.
- Validació periòdica dels models utilitzats.

b) Integració amb processos existents:

Les eines digitals no han de ser un sistema paral·lel, sinó que han d'estar integrades amb:

- Sistemes de control.
- Gestors documentals.
- Recursos humans i manteniment.

c) Competència digital de l'equip humà:

Una eina és útil si l'usuari l'entén i la fa servir. Així doncs, cal formar els equips en:

- Interpretació de dades.
- Coneixement dels riscos i les limitacions dels models digitals.
- Integració de la informació en la presa de decisions.

d) Ciberseguretat:

La interconnexió de sistemes augmenta la vulnerabilitat. És essencial:

- Segmentar les xarxes de control.
- Encriptar les comunicacions.
- Formar en ciberseguretat industrial.

e) Canvi cultural:

Adoptar innovacions implica repensar les maneres de treballar. Cal lideratge i una cultura oberta al canvi per evitar resistències i aprofitar el potencial de les eines.

9.5. Conclusions

La digitalització, la IA i la IIoT no són el futur de la seguretat de procés, ja són una realitat en moltes organitzacions. Permeten passar d'una gestió reactiva a una gestió predictiva, de dades disperses a coneixement integrat i de la intuïció a l'evidència.

Tanmateix, l'èxit no depèn només de la tecnologia, sinó de la integració amb els processos, de la qualitat de les dades i de la competència de les persones. La innovació tecnològica ha d'anar de bracet de la innovació cultural i organitzativa.

Les organitzacions que abracen aquestes tendències amb criteri, estratègia i formació, tindran un avantatge competitiu clar perquè seran més segures, més eficients i més resilents davant dels reptes d'una indústria cada cop més complexa.

10. Conclusions

Dels accidents històrics en la indústria de procés se'n desprenen aprenentatges fonamentals. Han posat en evidència la necessitat de prioritzar el disseny segur per damunt de l'eficiència immediata i del guany econòmic a curt termini. També han mostrat que els perills associats a una instal·lació s'han de gestionar durant tota la seva vida útil i que la formació i la competència professional del personal són actius imprescindibles. Una cultura de seguretat sòlida, la disciplina operativa, la gestió rigorosa del canvi i la preparació d'emergències realista completen aquest conjunt de lliçons. Gràcies a aquestes experiències, la indústria ha evolucionat cap a un enfocament integral, preventiu i basat en el risc.

És bàsic diferenciar perill i risc, dos conceptes que sovint es confonen. El perill és inherent a les substàncies o a les condicions físiques, mentre que el risc depèn de la manera com aquestes substàncies s'utilitzen i de les circumstàncies del procés. Això implica que una substància molt perillosa pot presentar un risc baix si es gestiona correctament i que una substància aparentment poc perillosa pot generar riscos elevats en determinades condicions. Aquesta distinció és el punt de partida de qualsevol anàlisi seriosa de seguretat.

Els riscos laborals tradicionals tenen un abast més limitat, ja que afecten normalment el lloc de treball i a la persona exposada, com en el cas de substàncies nocives, incendis o explosions locals. Aquests riscos han donat lloc a la disciplina de la prevenció de riscos laborals, imprescindible però diferent de la seguretat de procés. En canvi, els riscos propis de la indústria de procés tenen un abast potencial molt més ampli perquè poden comprometre la integritat de les instal·lacions, posar en perill moltes vides humanes, interrompre l'activitat econòmica i causar danys mediambientals. Les seves causes són variades i van des de la inflamabilitat de les substàncies fins

a reactivitats no desitjades passant per unes condicions de procés que poden desestabilitzar el sistema.

Per afrontar aquests riscos, s'ha desenvolupat la disciplina de la prevenció de pèrdues (*loss prevention*), que combina disseny segur, integritat dels actius i suport adequat a les persones que operen els processos. En els darrers anys, a més, s'han afegit nous reptes, els riscos ambientals, biològics i cibernètics que exigeixen una visió més àmplia i integradora de la seguretat de procés.

S'han proposat diversos models per gestionar aquesta realitat. El Sistema de Gestió de la Seguretat de la Directiva europea Seveso estableix set àrees bàsiques, des de l'organització i el personal fins a l'auditoria del sistema. El model Bradley-Dupont descriu l'evolució cultural de les organitzacions en quatre nivells: seguretat reactiva, dependent, independent i interdependent, sent aquest darrer el que reflecteix una responsabilitat compartida i un orgull col·lectiu en la seguretat. D'altra banda, el model de Gestió Distribuïda de la Seguretat d'IQS posa el focus en la percepció quotidiana de les persones i planteja sis principis per impulsar canvis culturals adaptats al context mediterrani.

A més dels models conceptuals, cal considerar la normativa de compliment obligatori. Aquesta inclou la legislació sobre seguretat de processos i accidents greus (Seveso), atmosferes explosives, equips a pressió, gasos combustibles, refineries, productes químics i altres àmbits (ATEX). La seva transposició a la legislació espanyola i catalana ha generat un marc regulador extens que obliga a mantenir uns estàndards mínims i facilita el control per part de l'Administració.

Un element central de la seguretat de procés és l'anàlisi de riscos. Aquesta ha de començar a les

primeres fases de disseny i repetir-se sempre que s'avanci en la definició del projecte o es modifiqui la instal·lació. La selecció de la metodologia adequada depèn de la complexitat del procés, dels objectius de l'anàlisi i del perfil dels usuaris. Les metodologies poden classificar-se en generalistes (HAZOP, FMEA), causals (FTA, Ishikawa, 5 perquès), basades en les conseqüències (ETA, models de conseqüències), de reducció del risc (LOPA, SIL) i d'acceptació del risc (matrius, índexs, AQR). Sigui quina sigui la tècnica emprada, el procés s'estructura en tres fases: identificació de perills, avaluació probabilística del risc i garantia de riscos durant tot el cicle de vida del procés.

Aquest enfocament tècnic s'ha de complementar amb la consideració del factor humà. Molts accidents han estat causats per deficiències en la gestió del coneixement, en la competència operativa o en la transmissió d'informació crítica. Per aquest motiu, la gestió del coneixement i de la competència ha d'integrar-se en el sistema de seguretat. Les accions recomanades inclouen un registre d'incidents i lliçons apreses, la implantació d'una formació sistemàtica amb matrius de competències i avaluacions rigoroses, i la promoció d'una cultura de seguretat sostinguda per un lideratge actiu i visible.

Durant la fase operativa d'una planta, mantenir un risc acceptable exigeix disciplina i eines concretes tals com procediments normalitzats, permisos de treball, manteniment preventiu amb inspeccions periòdiques, protocols estrictes de gestió del canvi, plans de seguretat per abans de l'arrencada i una gestió acurada d'alarmes que

eviti la saturació d'alertes. El risc zero és inexistent, per tant, la preparació d'emergències és imprescindible. Aquesta comença amb el pla d'emergència interior de la instal·lació i continua amb els plans d'emergència exterior coordinats per les autoritats que inclouen simulacres anuals per comprovar l'eficàcia de la coordinació entre equips interns i externs.

La seguretat de procés està immersa en una evolució constant. La digitalització, la intel·ligència artificial i la internet industrial de les coses permeten avançar cap a una gestió predictiva i basada en dades. Les seves aplicacions inclouen bessons digitals, monitoratge en temps real, detecció d'anomalies i manteniment predictiu. Però per implementar-les amb èxit cal assegurar la qualitat de les dades, integrar-les en els processos existents, desenvolupar competència digital en el personal, reforçar la ciberseguretat i fomentar un canvi cultural obert a la innovació sense relaxar el control del risc.

En síntesi, la seguretat de procés ha deixat de ser una responsabilitat exclusiva d'enginyers i tècnics especialitzats per esdevenir una disciplina transversal que afecta a tota l'organització. El compromís de la direcció, la cultura de seguretat, el coneixement compartit i la disciplina operativa són pilars indispensables. Les noves tecnologies ofereixen grans oportunitats, però només aporten valor quan s'integren amb criteri i es recolzen en una cultura capaç d'aprendre i adaptar-se. Les empreses que aconsegueixen aquest equilibri són més segures, més eficients i més resilients davant d'una indústria global cada cop més complexa i competitiva.

Annex A. Acrònims

En aquest document s'utilitzen nombrosos acrònims. La taula següent els resumeix amb el seu significat. Quan l'acrònim correspon a una

expressió en una altra llengua (per exemple, l'anglès), se'n dona la traducció al català entre parèntesis.

| Acrònim | Significat |
|---------|--|
| AG | Accidents greus |
| AMFE | Anàlisi de modes i efectes de fallades |
| API | <i>American Petroleum Institute</i> (Institut Americà del Petroli) |
| APQ | <i>Almacenamiento de productos químicos</i> (Emmagatzematge de productes químics) |
| AQR | Anàlisi quantitativa del risc |
| ATEX | Atmosfera explosiva |
| BLEVE | <i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion</i> (Explosió de vapor en expansió des d'un líquid en ebullició) |
| BP | <i>British Petroleum</i> |
| CCPS | <i>Center for Chemical Process Safety</i> (Centre de seguretat de procés química) |
| CFR | <i>Code of Federal Regulations</i> (és l'equivalent al Boletín Oficial del Estado o al Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, als Estats Units) |
| CLP | <i>Classification, Labelling and Packaging</i> (Classificació, etiquetatge i envasament) |
| CSB | <i>Chemical Safety Board</i> (Oficina de Seguretat Química dels Estats Units) |
| DPCE | Document de Protecció Contra Explosions |
| ECHA | <i>European Chemicals Agency</i> (Agència Europea de Productes Químics) |
| EPI | Equip de protecció individual |
| EPSC | <i>European Process Safety Centre</i> (Centre europeu de la seguretat de procés) |
| ETA | <i>Event Tree Analysis</i> (anàlisi d'arbres de fallades) |
| EX | Treball en calent |
| FMEA | <i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (Anàlisi de modes i efectes de fallades) |
| FTA | <i>Fault Tree Analysis</i> (Anàlisi d'arbres de fallades) |
| GDS | Gestió Distribuïda de la Seguretat |
| GHS | <i>Globally Harmonized System</i> (Sistema Globalment Harmonitzat) |
| GLP | Gas liquat del petroli |
| GMAO | Gestió de Manteniment Assistida per Ordinador |
| HAZOP | <i>Hazard and Operability Study</i> (Estudi de perill i operabilitat; algunes vegades s'anomena també anàlisi funcional d'operabilitat) |
| HEA | <i>Human Error Analysis</i> (Anàlisi d'errors humans) |
| IA | Intel·ligència artificial |
| ICChemE | <i>Institution of Chemical Engineers</i> (Associació professional d'enginyers químics) |
| IEC | <i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissió Electrotècnica Internacional) |
| INSS | Institut Nacional de Salut i Seguretat |
| IoT | <i>Internet of Things</i> (Internet de les coses) |
| IQS | Institut Químic de Sarrià |

| Acrònim | Significat |
|----------|---|
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> (Organització Internacional d'Estandardització) |
| ITC | Instrucció Tècnica Complementària |
| LOPA | <i>Layer of Protection Analysis</i> (Anàlisi de capes de protecció) |
| LOTOTO | <i>Lock-Out, Tag-Out, Try-Out</i> (Bloqueig, etiquetatge i prova) |
| eMARS | <i>Major Accident Reporting System</i> (Sistema de notificació d'accidents greus) |
| MoC | <i>Management of Change</i> (Gestió dels canvis) |
| NTP | <i>Nota Técnica de Prevención</i> (Nota tècnica de prevenció) |
| OSHA | <i>Occupational Health and Safety Administration</i> (Administració de Seguretat i Salut Laboral dels Estats Units) |
| PAU | Pla d'Autoprotecció |
| PED | <i>Pressure Equipment Directive</i> (Directiva d'aparells a pressió) |
| PEE | Pla d'Emergència Exterior |
| PEI | Pla d'Emergència Interior |
| P&ID | <i>Process and Instrumentation Diagram</i> (Diagrama mecànic de procés) |
| PLASEQTA | Pla d'Emergència Exterior del Sector Químic de Tarragona |
| PMP | Pla de Manteniment Preventiu |
| PNT | Procediments Normalitzats de Treball |
| PRL | Prevenió de Riscos Laborals |
| PRORA | <i>PROcess Risk Analysis</i> (Anàlisi de riscos de procés) |
| PSM | <i>Process Safety Management</i> (Gestió de la seguretat de procés) |
| PSSR | <i>Pre-Startup Safety Review</i> (Revisió de seguretat prèvia a la posada en marxa) |
| RAMS | <i>Reliability-Availability-Maintainability-Safety</i> (Estudi de fiabilitat, disponibilitat, mantenibilitat i seguretat) |
| RAPQ | Emmagatzematge de Productes Químics |
| RBPS | <i>Risk-Based Process Safety</i> (Gestió de la seguretat de procés basada en el risc) |
| RD | Reial Decret |
| REACH | <i>Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of CHemicals</i> (Registre, avaluació, autorització i restricció de substàncies químiques) |
| RP | <i>Recommended Practice</i> (Pràctica recomanada) |
| RPN | <i>Risk Priority Number</i> (Número de prioritat del risc) |
| RRF | <i>Risk Reduction Factor</i> (Factor de reducció del risc) |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (Supervisió del control i adquisició de dades) |
| SCD | Sistema de Control Distribuït |
| SGS | Sistema de Gestió de la Seguretat |
| SIF | <i>Safety Instrumented Function</i> (Funció instrumentada de seguretat) |
| SIL | <i>Safety Integrity Level</i> (Nivell d'integritat de la seguretat) |
| SIS | <i>Safety Instrumented System</i> (Sistema instrumentat de seguretat) |
| SOP | <i>Standard Operational Procedure</i> (Procediments normalitzats de treball) |
| TSM | <i>Total Safety Management</i> (Gestió integral de la seguretat) |
| ZHA | <i>Zurich Hazard Analysis</i> (Anàlisi de riscos de Zúric) |

Annex B. Referències

1. 29 CFR 1910.119: *Process safety management of highly hazardous chemicals*.
2. ISO 45001:2018: *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo*.
3. IEC 61508: *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*.
4. IEC 61511: *Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector*.
5. API RP 754: *Process Safety Performance Indicators for the Refining and Petrochemical Industries*.
6. Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de julio de 2012 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas y por la que se modifica y ulteriormente deroga la Directiva 96/82/CE.
7. Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
8. Real Decreto 1196/2003, de 19 de septiembre, por el que se aprueba la Directriz básica de protección civil para el control y planificación ante el riesgo de accidentes graves en los que intervienen sustancias peligrosas.
9. Decret 174/2001, de 26 de juny, pel qual es regula l'aplicació a Catalunya del Reial decret 1254/1999, de 16 de juliol, de mesures de control dels riscos inherents als accidents greus en els quals intervinguin substàncies perilloses.
10. Instrucció DGI 3/2021, de 20 de desembre de 2021, sobre les avaluacions de documentació que han de fer els organismes de control als establiments afectats per la normativa d'accidents greus a Catalunya, així com el procediment que han de seguir per a la seva realització.
11. Reglamento (CE) n o 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006 , relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n o 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n o 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE del Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión
12. Reglamento (CE) n o 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 , sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n o 1907/2006 (Texto pertinente a efectos del EEE)
13. Reglamento (UE) 2024/2865 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2024, por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.
14. Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.
15. Real Decreto 1427/1997, de 15 de septiembre, por el que se aprueba la instrucción técnica complementaria MI-IP 03 «Instalaciones petrolíferas para uso propio».
16. Real Decreto 809/2021, de 21 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

17. Directiva 2014/68/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de mayo de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos a presión
18. Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.
19. Directiva 2014/34/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (refundición).
20. Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 455/2012, de 5 de marzo, por el que se establecen las medidas destinadas a reducir la cantidad de vapores de gasolina emitidos a la atmósfera durante el repostaje de los vehículos de motor en las estaciones de servicio.
21. Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas.
22. Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
23. Atmósferas explosivas. Parte 10-1: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de gas.
24. Atmósferas explosivas. Parte 10-2: Clasificación de emplazamientos. Atmósferas explosivas de polvo.

Annex C. Principals mètodes de gestió de riscos de procés

| Metodologia | Àmbit d'aplicació | Acceptació de riscos | Tipus | Comentaris |
|--|----------------------------|---|--------------------------------|---|
| Document de Protecció Contra Explosions | Perills ATEX | Exclusió per coincidència d'atmosferes i fonts d'ignició | Taula d'escenaris | Principalment rellevant per al disseny d'instal·lacions i especificacions d'actius. Els principis consisteixen a identificar la presència potencial d'atmosferes explosives i fonts d'ignició. |
| Anàlisi del mode de falla i dels efectes (FMEA) | Fiabilitat del procés | Número RPN | Taula d'escenaris | Normalment esperat pels clients de la indústria de l'automatització i l'alimentació durant les auditories. És una metodologia utilitzada amb freqüència per a l'assegurament de la qualitat. Consisteix a identificar les fallades que pot experimentar un sistema, avaluar-ne les conseqüències i la resiliència del sistema davant d'elles. |
| Log-Out Tag-Out Try-Out (LOTOTO) | Aïllament de perills | Tots els perills s'han d'aïllar eficaçment | Llista | S'ha d'aplicar sempre en el marc d'un permís de treball. De-LOTOTOing també és molt rellevant. Relacionat amb PSUR. Consisteix a identificar totes les fonts d'energia (perill) i assegurar-se que estan degudament aïllades i provades per a la seva eficàcia abans que algú entri a la zona exposada al perill. |
| Informe d'accidents greus | Accidents greus | Segons la normativa local i la planificació del territori. | Informe d'avaluació d'escenari | Cobert en diversos països per la normativa local. Tanmateix, també hauria d'estar disponible un informe estàndard. Consisteix a definir escenaris d'accidents greus i determinar l'àrea d'impacte per les seves conseqüències físiques. |
| Gestió del canvi (MoC) | Canvis operatius | El nivell de risc ha de ser acceptable després dels canvis | Llista de verificació en capes | Pot requerir l'aplicació/actualització d'una avaluació de riscos realitzada amb una altra metodologia. Consisteix a avaluar l'impacte d'un canvi en els dominis i paràmetres operatius rellevants, per assegurar que el risc després del canvi es troba a el rang acceptable. |
| Seguretat de maquinària | Seguretat de la maquinària | Seguretat des del disseny o protecció mitjançant mesures tècniques/mecàniques | Llista | Necessari per a tots els equips nous, encara que tinguin el marcatge CE. S'enumeren i avaluen els perills potencials que pot generar una màquina per garantir que es prenguin mesures tècniques i organitzatives adequades per evitar possibles lesions causades durant la interacció amb la màquina. |

| Metodologia | Àmbit d'aplicació | Acceptació de riscos | Tipus | Comentaris |
|---|---|--|--------------------------------|--|
| Revisió de seguretat prèvia a l'inici (PSSR) | Evitació de perills en la posada en marxa/represa de les operacions | Totes les mesures han d'estar implementades abans de la posada en marxa | Llista de verificació en capes | Relacionat amb LOTOTO i permisos de treball. Consisteix a comprovar que els perills estan ben gestionats i que les condicions són segures després que s'hagi interromput un procés, s'hagi fet possibles canvis i es permeti iniciar les operacions. |
| Estudi de perills i operabilitat (HAZOP) | Seguretat de processos | Matriu d'acceptació de riscos | Taula d'escenaris | Necessari en tots els projectes d'enginyeria per validar el disseny. Basat en la definició sistemàtica de desviacions d'un estat definit del sistema. Les desviacions són la combinació d'una paraula guia i un paràmetre de procés. |
| Seguretat Tèrmica de Processos | Perills reactius | Els esdeveniments descontrolats s'han d'evitar mitjançant el disseny del procés / mesures SHIRAM | Informe d'avaluació d'escenari | Necessari per a tots els processos per garantir condicions reactives segures. Avaluació dels perills reactius relacionats amb el desitjat, és a dir, la reacció que es vol realitzar, i el no desitjat, és a dir, les possibles reaccions secundàries, la descomposició, etc. |
| Permisos de treball | Operacions no estàndard | Tots els perills s'han d'excloure efectivament | Llista de verificació en capes | Ha de definir un PSUR i pot requerir un LOTOTO. Consisteix a comprovar que s'han identificat tots els perills relacionats amb una obra i que s'han establert mesures de seguretat per evitar-los o reaccionar-hi en cas que es manifestin durant l'execució d'una obra especial. |

Annex D. Llista de normes relacionades amb l'autoprotecció a Espanya

| Comunitat autònoma | Norma | Observacions |
|--------------------|--|---|
| Àmbit Estatal | Reial decret 524/2023 | Derogarà el Reial decret 393/2007 el juliol de 2027. |
| Andalusia | Llei 2/2002 | Regula la gestió d'Emergències a Andalusia |
| | Ordre de 16 d'abril de 2008 | Regula el procediment per a l'elaboració, aprovació i registre del Pla d'Autoprotecció en centres docents públics d'Andalusia (excepte universitaris i altres casos especials). |
| Aragó | Llei 30/2002 | Sobre Protecció Civil i Atenció d'Emergències |
| | Decret 24/2010 | Regula l'estructura i l'organització del Registre de Plans de Protecció Civil d'Aragó |
| Astúries | - | - |
| Balears | Decret 8/2004 | Desenvolupa aspectes de la Llei d'ordenació d'emergències a les Illes Balears. |
| Canàries | Llei 9/2007 | Estableix el marc general per a la protecció civil i les emergències a l'arxipèlag. |
| | Decret 67/2015 | Regula el Reglament d'Autoprotecció exigible a determinades activitats a la comunitat. |
| Cantàbria | Decret 24/2015 | Deroga el Decret 51/2009. Regula el procediment de control administratiu i registre dels plans d'autoprotecció. |
| Castella la Manxa | Decret 1/2018 | Va substituir el Decret 11/2014 i regula el Registre de Plans d'Autoprotecció. |
| Castella i Lleó | Ordre FYM/1023/2012 | Crea el fitxer de dades de caràcter personal denominat Registre de Plans d'Autoprotecció de Castella i Lleó. |
| | Decret 6/2014 | Crea i regula el Registre de Plans d'Autoprotecció de Castella i Lleó. |
| Catalunya | Llei 4/1997 | Estableix el marc general de la protecció civil i les obligacions de les activitats amb risc. |
| | Ordre INT/20/2011 | Creació del fitxer de dades de caràcter personal del personal tècnic acreditat. |
| | Ordre INT/325/2013 | Regula l'acreditació de tècnics competents per elaborar plans d'autoprotecció. |
| | Decret 30/2015 | Deroga el Decret 82/2010. Estableix el catàleg d'activitats obligades a adoptar mesures d'autoprotecció. |
| Ceuta | Ordenança Reguladora del Registre Autonòmic de Plans d'Autoprotecció | Aprovada definitivament pel Ple de l'Assemblea el 25 de març de 2010. |

| | | |
|----------------------|-------------------------------|--|
| Comunitat Valenciana | Decret 83/2008 | Crea el registre autonòmic de plans d'autoprotecció. |
| | Decret 222/2009 | Estableix els requisits mínims que han de complir els centres de treball de la Comunitat Valenciana on es presten serveis sanitaris. |
| | Llei 13/2010 | Sobre Protecció Civil i gestió d'emergències. |
| | Ordre 27/2012 | Sobre plans d'autoprotecció o mesures d'emergència als Centres Educatius no universitaris de la Comunitat Valenciana |
| | Decret 32/2014 | Modificat pel Decret 67/2020. Actualitza el catàleg d'activitats amb risc i el registre autonòmic. |
| Extremadura | Decret 32/2023 | Deroga el Decret 95/2009 i que regula el nou Registre de Plans de Protecció Civil d'Extremadura. |
| Galícia | Llei 5/2007 | Sobre emergències |
| | Ordre de 27 de febrer de 2012 | Modificada per l'Ordre de 8 de juny de 2021. |
| | Decret 172/2022 | Deroga el Decret 171/2010. |
| La Rioja | Llei 1/2011 | Norma marc de protecció civil i atenció d'emergències a la comunitat. |
| Madrid | Decret 74/2017 | Regula el Registre de Dades de Plans d'Autoprotecció de la Comunitat de Madrid. |
| Melilla | | |
| Múrcia | | |
| Navarra | Ordre Foral 405/2010 | No és normativa definitiva, sinó un tràmit d'informació pública per a un projecte de Decret Foral pel qual s'aprovi el Catàleg d'activitats de Risc a Navarra i es creï el Registre de Plans d'autoprotecció de Navarra. |
| | Llei Foral 8/2005 | Sobre Protecció Civil i atenció d'emergències de Navarra. |
| País Basc | Decret 277/2010 | Regula les obligacions d'autoprotecció exigibles a determinades activitats i centres. Modificat parcialment. |

Annex E. Plans territorials per Comunitat Autònoma

| Comunitat autònoma | Pla Territorial d'Emergències | Plans especials per riscos naturals | Plans especials per riscos tecnològics i antròpics | Altres plans rellevants |
|--------------------|-------------------------------|---|---|--|
| Andalusia | PTEAnd: pla director | Pla especial pel risc de sismes submarins acordat pel Decret 127/2023 | | PEE per accidents greus amb substàncies perilloses aprovat pel Decret 151/2023 |
| | | INFOCA: per incendis forestals. | | |
| Aragó | PLATEAR: pla director | PROCINAR: inundacions | PROCIMER: Transports de mercaderies perilloses | PEE Sabiñánigo |
| | | PROCINFO: incendis forestals | PROCIRA: risc radiològic | PEE Monzón |
| | | PROCIFEMAR: fenòmens meteorològics adversos | PROCIGO: risc d'accidents en oleoductes i gasoductes | PEE La Zaida |
| | | PROCISIS: sismes | | PEE Zuera |
| Astúries | PLATERPA: pla director | INFOPA: incendis Forestals | PLAMERPA: transport de Mercaderies Perilloses (carretera i ferrocarril) | SAPLA: salvament a Platges |
| | | PLANINPA: inundacions | PLAQUIMPA: Plans d'Emergència Exterior Per A Grans Indústries | |
| | | | PLACAMPA: per contaminació | |
| Balears | PLATERBAL: pla director | GEOBAL – risc sísmic | MERPEBAL – transport de mercaderies perilloses | |
| | | INFOBAL – incendis forestals | Seveso – accidents a indústries amb substàncies perilloses | |

| Comunitat autònoma | Pla Territorial d'Emergències | Plans especials per riscos naturals | Plans especials per riscos tecnològics i antròpics | Altres plans rellevants |
|--------------------|-------------------------------|--|---|--|
| | | INUNBAL – inundacions | RADBAL – emergències radiològiques | |
| | | METEOBAL – fenòmens meteorològics adversos | | |
| | | CAMBAL – contaminació d'aigües marines | | |
| | | GEOBAL – risc sísmic | | |
| Canàries | PLATECA: pla director | PEINCA: risc d'inundacions | PECMAR: Pla Específic per Contaminació Marina Accidental. | |
| | | PEVOLCA: risc volcànic | TRANSCAN: transport de mercaderies perilloses. | |
| | | PEFMA: fenòmens meteorològics adversos (vents forts, pluges intenses, etc.). | PLASEQCA: emergències Químiques a Canàries (en desenvolupament o adaptació segons normativa estatal). | |
| | | INFOCA: risc d'incendis | | |
| Cantàbria | PLATERCAN: pla director | INFOCANT: risc d'incendis | TRANSCANT: sobre transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril | PEE de determinades empreses químiques ubicades a Cantàbria. |
| | | INUNCANT: risc d'inundacions | | |
| Castella i Lleó | PLATERCYL: pla director | INFOCAL – Incendis forestals | MPCYL – Transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril | PEE Industrial / nuclear / sísmic / radiològic |
| | | INUNCYL – Inundacions | | |
| Castella la Manxa | PLATECAM: pla director | SISMICAM: risc sísmic | RADIOCAM: risc radiològic | PEE industrials |

| Comunitat autònoma | Pla Territorial d'Emergències | Plans especials per riscos naturals | Plans especials per riscos tecnològics i antròpics | Altres plans rellevants |
|----------------------|--|--|---|--|
| | | Incendis Forestals | PETCAM: transport de mercaderies perilloses | |
| | | METEOCAM: fenòmens meteorològics adversos | | |
| | | PRICAM: risc d'inundacions | | |
| Catalunya | PROCICAT: pla territorial per emergències generals, però també actua com a paraigua per altres riscos. | INUNCAT: per risc d'inundacions. | PLASEQCAT: per accidents químics a la indústria. | DUPROCI: Document únic de protecció civil municipal, que inclou els riscos específics de cada municipi |
| | | NEUCAT: per nevades intenses. | PLASEQTA: específic per al polígon petroquímic de Tarragona. | FERROCAT: de transport de viatgers per ferrocarril. |
| | | VENTCAT: per ventades fortes. | RADCAT: per emergències radiològiques. | |
| | | INFOCAT: per incendis forestals. | TRANSCAT: per accidents en el transport de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril | |
| | | SISMICAT: pla especial d'emergència sísmica. | CAMCAT: pla especial d'emergència per contaminació accidental de les aigües marines a Catalunya | |
| | | ALLAUCAT: per risc d'allaus. | | |
| | | | | |
| Comunitat Valenciana | PTCV: pla director | Pla especial davant del risc d'incendis forestals. | Pla especial davant el risc d'accidents de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril | PEE d'establiments afectats pel R.D. 840/2015. |
| | | Pla especial davant d'inundacions. | Pla Especial davant del risc radiològic | |

| Comunitat autònoma | Pla Territorial d'Emergències | Plans especials per riscos naturals | Plans especials per riscos tecnològics i antròpics | Altres plans rellevants |
|--------------------|-------------------------------|--|---|---|
| | | Pla Especial davant del risc sísmic | | |
| Extremadura | PLATEREX: pla director | INUNCAEX: risc d'inundacions | TRANSCAEX: risc d'accidents de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril | PEE d'establiments afectats pel R.D. 840/2015. |
| | | | RADIOCAEX : RISC radiològic | |
| Galícia | PLATERGA: pla director | INUNGAL: pla especial davant d'inundacions. | TRANSGAL: risc d'accidents de mercaderies perilloses per carretera i ferrocarril | PEE establiments industrials |
| | | SISMIGAL: risc sísmic | | PEE d'establiments afectats pel R.D. 840/2015. |
| | | PEIFOGA: risc d'incendis | | |
| Madrid | PLATERCAM: pla director | PAMIF: risc d'incendis | RADCAM: risc radiològic | PEE instal·lacions d'emmagatzematge de substàncies perilloses |
| | | INUNCAM: risc d'inundacions | | PEE d'establiments afectats pel R.D. 840/2015. |
| | | PAMINVER: risc d'inclemències hivernals | | |
| Múrcia | PLATEMUR: pla director | | | |
| Navarra | PLATENA: pla director | INFONA: risc d'incendis | | PEE establiments industrials |
| | | PEFMA: pla especial davant fenòmens meteorològics adversos | | PEE d'establiments afectats pel R.D. 840/2015. |
| La Rioja | PLATERCAR: pla director | INFOCAR: risc d'incendis | TRANSCAR: Transport de Mercaderies Perilloses | |

| Comunitat autònoma | Pla Territorial d'Emergències | Plans especials per riscos naturals | Plans especials per riscos tecnològics i antròpics | Altres plans rellevants |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|
| | | INUNCAR: risc d' Inundacions | RADIOCAR: Emergències Radiològiques | |
| País Basc | LABI: pla director | Inundacions | Transport de mercaderies perilloses | |
| | | Incendis forestals | Emergències Aeronàutiques | |
| | | Costes - Itsasertza | Risc químic: normativa Seveso | |
| | | Risc sísmic | Risc radiològic | |

Annex F. Adreces dels serveis de Protecció Civil de cada comunitat autònoma

| Comunitat autònoma | Pàgina web |
|----------------------|---|
| Andalusia | https://juntadeandalucia.es/organismos/ema/areas/proteccion-civil/planificacion-emergencias.html |
| Aragó | https://www.aragon.es/-/planes-de-proteccion-civil-en-aragon |
| Astúries | https://www.112asturias.es/planes-proteccion-civil |
| Balears | https://caib.es/sites/planificacioemergenciasipc/es/planes_de_pc/ |
| Canàries | https://www.gobiernodecanarias.org/emergencias/planes-de-emergencias/ |
| Cantàbria | https://www.cantabria.es/web/proteccion-civil-y-emergencias/planes-de-proteccion-civil |
| Castella – La Manxa | https://112.castillalamancha.es/proteccion-civil/planes |
| Castella i Lleó | https://www.jcyl.es/web/es/administracionpublica/proteccion-civil/planificacion-proteccion-civil.html |
| Catalunya | https://interior.gencat.cat/ca/arees_dactuacio/proteccio_civil/plans-proteccio-civil/ |
| Comunitat Valenciana | https://avsre.gva.es/va/web/emergencias/proteccion-civil |
| Extremadura | https://www.juntaex.es/temas/administracion-publica/emergencias-y-proteccion-civil |
| Galícia | https://conselleriadepresidencia.xunta.gal/plans-de-emerxencia |
| La Rioja | https://www.larioja.org/emergencias-112/es/proteccion-civil |
| Madrid | https://www.comunidad.madrid/servicios/seguridad-emergencias-ase-112/planes-proteccion-civil-comunidad-madrid |
| Múrcia | https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=476&IDTIPO=140&RASTRO=c2699\$m |
| Navarra | https://www.navarra.es/es/seguridad-y-emergencias |
| País Basc | https://www.euskadi.eus/plan-proteccion-civil-euskadi/web01-a2blarri/es/ |