

---

---

# LOS IMPACTOS DE LA CRISIS ECONÓMICA EN LOS RIESGOS TECNOLÓGICOS

---

---

---

JOSEP M. RENAU I FOLCH<sup>1</sup>

Profesor emérito de la Universidad Rovira i Virgili

---

El tema que se presenta es el del impacto de la crisis económica actual en los riesgos tecnológicos, es decir, en la seguridad de determinados procesos productivos asociados al riesgo, como son el sector químico, petroquímico y energético (refinado de petróleo, nuclear) o el transporte de mercancías peligrosas. No hay una respuesta clara, porque si bien es cierto que en determinados casos la crisis económica puede hacer reducir o eliminar partidas que son esenciales para la seguridad, también es verdad que se puede aprovechar un momento como éste para llevar a cabo una catarsis que desemboque en una gestión más eficiente de la seguridad. En cualquier caso, las empresas deben saber por qué se producen los accidentes y deben poder calcular los costes tangibles e intangibles que éstos suponen. Sólo un análisis del tipo coste-beneficio podrá determinar el auténtico beneficio que una empresa y el conjunto de la sociedad consiguen cuando, aplicando políticas preventivas, se minimiza el número de accidentes.

*The topic presented here is the impact of the current economic crisis on technological risks, in other words on the safety of certain manufacturing processes associated with risk, such as the chemical, petrochemical and energy industries (oil refinery, nuclear power, etc.) or the transportation of hazardous materials. There is no clear answer because while it is true that in certain cases the economic crisis can result in a reduction or cancellation of aspects that are essential to safety, it is also true that a moment like this can be capitalised on to carry out a process of catharsis that would lead to more efficient safety management. Either way, companies have to know why accidents occur and how to calculate the tangible and intangible costs that they incur. Only a cost/benefit analysis can determine the real benefit to a company and to society as a whole when accidents are reduced by applying policies of risk prevention.*

---

## 1. PREÁMBULO

¿Cómo puede afectar la actual crisis en la seguridad? ¿Aumentan los riesgos tecnológicos —como el riesgo químico, el nuclear, el del transporte de mercancías peligrosas, etc.— con los recortes presupuestarios que se imponen tanto al sector privado como al público?

La respuesta es ambivalente, ya que dependiendo de cómo actúen las empresas —y las administraciones públicas en la parte que les corresponde— y de cómo se aproveche este período de incertidumbre y de falta de recursos financieros, el resultado de una crisis como la que estamos viviendo podría ser positivo o negativo para la seguridad.

---

1. Dirección postal: C. València, 281, 3º 2ª. 08009-Barcelona. Dirección electrónica: josep.renau@urv.cat. Teléfono: 616 938 884.

El mensaje que acompaña a la crisis estos últimos meses tiene, sin duda, una parte negativa, pero junto a los augurios pesimistas —o realistas, según se mire— se han alzado voces que ven la crisis como una oportunidad para revisar conceptos y enfocar el funcionamiento de la sociedad del futuro desde la óptica de la calidad, la sostenibilidad y —nos gustaría poder añadir— del control de los mercados financieros.

La palabra *crisis* nos ha llegado a través del latín pero es de origen griego. El verbo original κρινειν significa, entre otras cosas, separar o decidir. En este sentido, *crisis* sería el momento que separa un modo de ser o una serie de fenómenos de otro diferente.

La crisis obliga a analizar el momento actual de nuestras empresas, a reflexionar sobre las peculiaridades de nuestro tejido industrial, a poner en evidencia tanto nuestros puntos fuertes como los débiles, así como las amenazas que limitan nuestro crecimiento. Y también a definir qué entendemos por crecimiento o qué tipo de crecimiento deseamos, si es posible la elección.

En definitiva, como objetivo y consecuencia de este acto de reflexión, hay que determinar el modelo empresarial más adecuado para hacer frente a una competitividad sin fronteras que deberá basarse, más que nunca, en la innovación y en la calidad de productos y servicios.

Un tiempo de crisis —en el que se ponen en entredicho la función de los mercados financieros, pero también los sistemas productivos— puede ser un buen momento para analizar la seguridad en las empresas de nuestro país y adecuar sus estructuras, mejorando el sistema de gestión de la seguridad.

¿Cómo pueden los gestores de seguridad de las empresas administrar más eficientemente los recursos que tienen a su disposición? Esta es una de las cuestiones fundamentales que trataremos en el este artículo. Puede que no sea el momento de hacer grandes inversiones en protección —si no están justificadas—, pero sí de mejorar la gestión, la prevención y, en general, la cultura preventiva.

Pero esta crisis, como cualquier otra, tiene dos caras y junto a la optimista, positiva y creativa aparece la correspondiente cara pesimista, negativa e indolente.

Es un hecho que la seguridad —especialmente en las empresas que no tienen una conciencia clara de que, además de una cuestión ética que a todos obliga, es un tema que afecta positivamente la calidad y la productividad y, por tanto, a la corta o a la larga, a su cuenta de resultados— puede quedar tocada por esta segunda cara de la crisis.

Una empresa que crea que para superar la coyuntura actual hay que simplemente recortar los presupuestos asignados a los ámbitos de la seguridad, medio ambiente o calidad, cometería un grave error. Otra cosa muy diferente es buscar la eficiencia en la asignación de recursos.

En este artículo se pondrá de manifiesto el coste elevado de los accidentes y, por tanto, la necesidad de analizar en profundidad las inversiones y los gastos necesarios y, por encima de todo, los cambios organizativos requeridos para reducir su frecuencia y sus consecuencias.

## 2. LOS COSTES DE LA SEGURIDAD

Para desarrollar este tema intentaremos expresar con una base cualitativa cuáles son los principales costes de la seguridad, tanto los de capital (inversiones) como los costes anuales, y qué influencia tienen en los riesgos tecnológicos.

Una empresa que deje de invertir o gastar en seguridad tendrá aparentemente menos costes en su contabilidad pero sólo aparentemente, ya que los accidentes que puedan producirse por este motivo y los paros, parciales o totales, de su producción, provocados por estos accidentes pueden representar un coste inasumible a la larga, o incluso de manera inmediata.

Para entender el concepto de riesgo y seguridad industrial es necesario comprender cómo se producen los accidentes.

Un accidente industrial suele ser el resultado visible y dañino de una cadena de acontecimientos negativos que se han ido sucediendo, a menudo sin ser conscientes. Esta cadena puede ser muy corta, con lo que los accidentes se producirían frecuentemente, o, por el contrario, muy larga, y los accidentes tendrían lugar de forma muy ocasional.

En general, se puede asegurar que cuando se produce un accidente, ya se habían dado antes, tal vez cientos de veces, algunas o muchas de las condiciones para que el accidente tuviera lugar. Sólo en contadas ocasiones el accidente pasa como consecuencia de un acto externo de imposible predictibilidad.

La imagen de una cadena con sus eslabones también da una idea positiva de las oportunidades que se tienen al alcance para evitar el accidente. En efecto, al igual que una cadena necesita todos sus eslabones para mantener la integridad, un accidente también necesita cada uno de las situaciones para llegar a producirse. Si se trabaja para evitar estos eventos, se trabaja para reducir la frecuencia accidental.

### 2.1 CATEGORÍAS DE ACCIDENTES INDUSTRIALES

A efectos del tema que se está tratando, se debe distinguir dos categorías de accidentes, que se detallan a continuación.

#### 2.1.1 Los accidentes graves asociados a los riesgos tecnológicos

Estos tipos de accidentes pueden suponer un número de víctimas importante en el interior o en el exterior de un establecimiento industrial y/o la necesidad de una movilización de personas y grupos operativos (activación de un plan de emergencia, por ejemplo) cerca del establecimiento, y/o pérdidas económicas significativas.

En esta categoría entrarían los accidentes en el transporte de mercancías peligrosas por carretera o ferrocarril que pudieran provocar víctimas, no por el accidente de circulación en sí, sino por la naturaleza de la sustancia peligrosa transportada. Por ejemplo, un camión cisterna que transporte gas licuado de petróleo (GLP), debido a un choque en la carretera, puede explotar y provocar víctimas rela-

tivamente alejadas del lugar de la explosión que de otro modo no se hubieran visto implicadas en el accidente.

En general, se puede decir que una característica de este tipo de accidentes es la bajísima probabilidad de ocurrencia, que hace que, aunque las consecuencias de los accidentes puedan ser muy importantes, incluso catastróficas, el riesgo asociado es bajo y, generalmente, asumible por el conjunto de la sociedad.

Esto se debe a que el riesgo se define como una probabilidad de que se concrete en un daño determinado. Aunque el daño pueda ser potencialmente mayor, si la probabilidad de que el accidente se produzca es baja, el riesgo también lo sería.

Por poner un ejemplo extremo, consideramos una instalación química con almacenamiento de sustancias tóxicas e inflamables. Un accidente que significara la ruptura de las paredes de alguno de los depósitos conllevaría un alcance enorme de los efectos perniciosos, incluso, a veces, de kilómetros de distancia, con lo que el número de personas potencialmente afectadas podría ser muy alto.

El quid de la cuestión no es sólo el de poder disponer de un plan de emergencia exterior que proteja a las personas, sino, sobre todo, evitar que se produzca la rotura de las paredes del depósito. Por eso, hay que incidir en el diseño, la construcción y el montaje del recipiente, en su mantenimiento y en la ingeniería del control que modifique las condiciones del proceso a partir de una información continua del estado del depósito y de su contenido.

En definitiva, además de diversas medidas de protección como serían las de colocar este depósito dentro de una estructura de hormigón, o la aprobación de un plan de autoprotección o un plan de emergencia exterior, hace falta sobre todo aplicar un conjunto de medidas de carácter preventivo, basado en los aspectos mencionados en el párrafo anterior.

Las empresas productivas del sector químico o petroquímico, en general, invierten mucho dinero en seguridad de procesos porque las consecuencias de un accidente catastrófico pueden significar un descalabro desde el punto de vista económico; incluso puede conllevar la desaparición de la empresa, como fue el caso de Union Carbide por el accidente de Bhopal el 3 de diciembre de 1984.

A título comparativo, fuera del ámbito industrial pero dentro de la categoría de accidentes graves, se incluirían los accidentes aéreos. Las consecuencias de un accidente en este medio de transporte suelen ser catastróficas, noticia de primera plana de los medios de comunicación, pero la probabilidad de que suceda es bajísima, prácticamente despreciable.

Es bien conocido que las compañías aéreas que más accidentes tienen son las que menos recursos materiales dedican al mantenimiento, a la revisión periódica de sus aparatos, y, seguramente, a la formación y el control de las tripulaciones.

### **2.1.2 Accidentes laborales con efectos de alcance limitado**

Estos tipos de accidentes industriales afectan a una o a pocas personas; suelen conllevar costes relativamente bajos (en comparación con los accidentes

catastróficos) a una empresa a título individual, pero muy elevados cuando se considera el conjunto de empresas de un país.

Las consecuencias potenciales de los accidentes laborales, aunque pueden ser muy graves individualmente, son de menor entidad —en cuanto al número de personas afectadas en un único accidente— que las de los accidentes catastróficos, pero en cambio la probabilidad de ocurrencia es relativamente elevada. Esto hace que el número total de accidentes laborales en un territorio concreto sea muy elevado.

No hay que mostrar cifras de siniestralidad para dejar constancia escrita de que el número de víctimas mortales por accidentes laborales es muy superior al de víctimas por accidentes graves o catastróficos.

Un aspecto diferente, que no se desarrollará en este artículo, es la percepción que tenga la gente sobre ello. Normalmente los accidentes que ocurren de una manera frecuente, especialmente en ámbitos conocidos, suelen tolerarse mejor que los accidentes graves.

Si se consideran exclusivamente las empresas industriales con riesgo tecnológico (es decir, las del sector químico, petroquímico y energético), el riesgo individual de muerte, tanto por accidente laboral como grave o catastrófico, es muy bajo, por debajo del de otros sectores.

## 2.2 SECUENCIA ACCIDENTAL

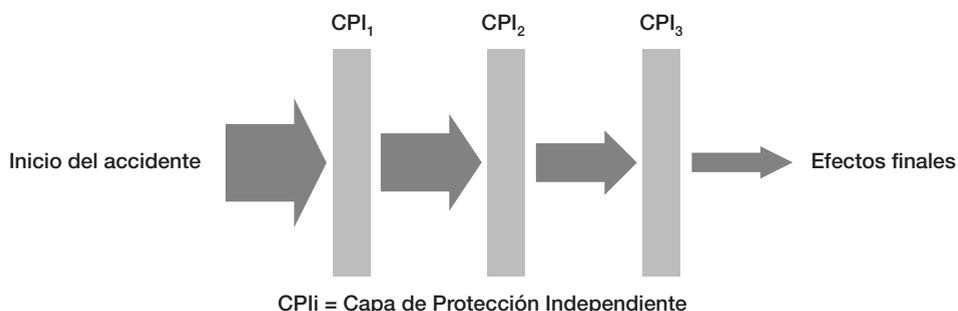
Como ya se ha comentado anteriormente, un accidente es el resultado final de una serie, más o menos larga, de acontecimientos negativos que se producen de forma sucesiva o simultánea. Algunos de estos eventos se originan por fallos que están latentes, es decir, por fallos de elementos que en el momento de entrar en servicio están en estado de fallo y, por tanto, no son capaces de corregir la acción de desvío del proceso que lleva hasta el accidente.

El conocimiento de los caminos que llevan a un accidente es de vital importancia porque permite identificar los acontecimientos negativos, proporciona oportunidades para corregir los fallos potenciales del proceso y objetiva el análisis de las inversiones o los gastos que se deben realizar para reducir el riesgo de este accidente en concreto.

La minimización del riesgo de un accidente de un proceso con sustancias peligrosas se lleva a cabo implantando capas de protección o barreras independientes (así, si una falla, las otras no tienen por qué fallar) que, como si se tratara de las diferentes capas de una cebolla, separan el núcleo central —la planta química donde se concentra el riesgo— de las personas, tanto empleados como población exterior.

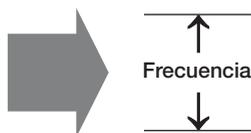
Cualquier instalación de carácter tecnológico está sujeta a un riesgo de accidente por fallo de alguna de las barreras que la protegen. Veamos el esquema siguiente (figura 1) para comprender mejor el significado del concepto de capas de protección.

**Figura 1. Modelo esquemático de la evolución de un accidente con capas de protección.**



Un accidente puede iniciarse —aunque quizá nadie se dé cuenta—, pero no continúa evolucionando porque una barrera lo impide. De ahí la importancia de diseñar las barreras adecuadas y mantenerlas en un estado de funcionamiento correcto.

El grosor de las flechas simboliza la frecuencia de un accidente, que va disminuyendo en cada etapa gracias a las acciones de las capas de protección.



En la fase de diseño de una instalación química se analiza si el número de barreras es suficiente y si sus características son las adecuadas.

### 3. FACTORES DEL RIESGO LABORAL

Los factores del riesgo laboral —sobre los que se puede actuar para reducirlo— se pueden clasificar en los cuatro grupos que se presentan a continuación (Cortés 1997, 28). Después de cada factor se hace una mención breve a la reducción del riesgo correspondiente.

#### 3.1 FACTORES O CONDICIONES DE SEGURIDAD

Estos factores incluyen las condiciones materiales que influyen sobre la accidentabilidad: pasillos y superficies de tráfico, aparatos y equipos de elevación, máquinas, herramientas, vehículos de transporte, instalaciones eléctricas, etc. La *seguridad del trabajo*, como técnica de prevención de los accidentes de trabajo, se encarga del conocimiento y el estudio de estos factores.

*Reducción del riesgo*

Mantenimiento de aparatos, máquinas, vehículos, instalaciones eléctricas, modificación de las estructuras de paso de los trabajadores, señalizaciones, redacción de procedimientos específicos, formación adecuada sobre la prevención de los accidentes.

## 3.2 FACTORES DE ORIGEN FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO

Se incluyen los *contaminantes físicos* (ruido, vibraciones, iluminación, radiaciones ionizantes y no ionizantes...), los *contaminantes químicos* presentes en el ambiente de trabajo en forma de gases, vapores, nieblas, aerosoles, humos, polvo... y los *contaminantes biológicos*, constituidos por microorganismos (bacterias, virus, hongos...). La *higiene de trabajo*, como técnica de prevención de las enfermedades profesionales, se encarga del estudio y el conocimiento de estos factores.

*Reducción del riesgo*

Protecciones adecuadas a las emisiones, tanto líquidas como gaseosas, cambios de sustancias químicas por otras no dañinas, sistemas de extracción de gases y vapores, aparatos respiratorios, señalización de las sustancias, redacción de procedimientos específicos, formación para el conocimiento del riesgo de las sustancias.

## 3.3 FACTORES DERIVADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO

Estos factores se relacionan con las exigencias que la tarea impone al individuo en forma de esfuerzos, posturas, manipulación de carga, niveles de atención, etc. La *ergonomía* es la ciencia o técnica que estudia la adaptación de las condiciones de trabajo a las personas.

*Reducción del riesgo*

Adecuación de los puestos de trabajo a las diferentes tareas.

## 3.4 FACTORES DERIVADOS DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Se trata de aspectos como los horarios, la velocidad de ejecución de las tareas, las relaciones jerárquicas, etc., y que pueden comportar problemas de insatisfacción o de estrés. La *psicosociología* es la disciplina que estudia estos factores de riesgo.

*Reducción del riesgo*

Modificaciones en las estructuras y la organización del trabajo. Este es un punto importante en época de crisis, por la tentación que puede haber de reducir plantillas pero mantener a la vez la misma capacidad productiva.

Como se puede ver, hay unas inversiones que hacer, que pueden ser muy significativas, como por ejemplo, en maquinaria o equipos más seguros, en obras

para modificar estructuras, en extractores, en aparatos de respiración, en adecuaciones de los puestos de trabajo y gastos relacionados con el mantenimiento de los equipos en general, en análisis para configurar una estructura óptima y en formación del personal.

Junto a estas inversiones y costes, habría el beneficio —o más propiamente, la reducción de coste— que se obtendría evitando los accidentes laborales. Diversas instituciones y científicos especializados han estudiado cuáles son los costes de los accidentes laborales. No es este el espacio para detallarlos pero apuntamos unos cuantos, a título informativo:

- costes salariales directos e indirectos por el tiempo perdido por la persona o personas accidentadas, por sus compañeros y por los mandos intermedios;
- pérdida de negocio por beneficios no generados, pérdidas de pedidos, penalizaciones por retrasos en las entregas de los productos, etc.;
- daños materiales a los equipos y productos echados a perder;
- incremento de costes en forma de horas extraordinarias para recuperar la producción perdida;
- gastos generales en el material de los primeros auxilios, costes de traslado de personas accidentadas, sanciones, actos judiciales, daños a terceros, etc.

Junto a este tipo de costes que podrían quedar cubiertos por una póliza de seguros, ya que son relativamente fáciles de cuantificar, estarían los costes ocultos o intangibles, de difícil evaluación. Por ejemplo, el buen nombre de la empresa, que quedaría en entredicho, o la degradación del ambiente de trabajo que, como se sabe, está muy influenciado por las condiciones del entorno.

Juan Somavia, director general de la Oficina Internacional del Trabajo (OIT), en su mensaje del 28 de abril de 2010 con motivo del Día Mundial de la Seguridad y la Salud en el Trabajo, manifestó que cada día mueren seis mil trescientas personas por accidentes o enfermedades relacionadas con el trabajo, lo que representa dos millones trescientas mil muertes al año en trescientos treinta y siete millones de accidentes (OIT, 2010). Y también manifestó que:

El coste económico en pérdidas de puesto de trabajo, tratamiento médico y prestaciones en efectivo es el 4% del PIB mundial. Esta cifra supera el valor total de las medidas de estímulo adoptadas para responder a la crisis económica de 2008-2009... Surgen nuevos riesgos en ámbitos emergentes, como el de la aplicación nanotecnológica y la bioquímica.

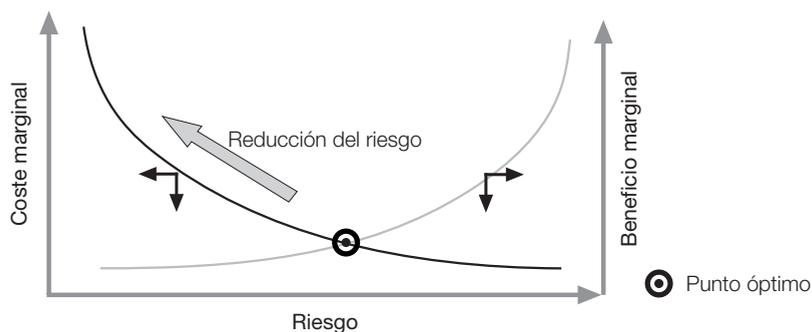
#### 4. EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO

Si con motivo de la crisis económica un gerente o responsable de la seguridad de un establecimiento se siente obligado a reducir costes, debería determinar los que puede minimizar o eliminar sin reducir significativamente la seguridad, sino todo lo contrario, aumentándola.

Para ello, es necesario que analice los costes de la seguridad pero también los beneficios que la empresa obtendría al reducir el riesgo. Una herramienta muy interesante para llevar a cabo este tipo de estudios es el análisis coste-beneficio.

Si se representan los costes marginales y beneficios marginales en función del riesgo, se obtendría un gráfico con una forma similar a la siguiente:

**Gráfico 1. Costes y beneficios marginales en función del riesgo.**



Se entiende por coste marginal el necesario para reducir el riesgo en una unidad predefinida de tipo económico, y beneficio marginal, lo que se obtiene por haber reducido esta unidad de riesgo. El riesgo óptimo se encuentra en la confluencia entre la curva de coste marginal y la del beneficio marginal.

Puede parecer chocante hablar de un riesgo óptimo cuando se diría que lo óptimo es la ausencia total de riesgo. Esto no es así por una cuestión de limitación de recursos y por la consideración de que no se puede eliminar completamente la probabilidad de un accidente. Los recursos mal asignados no reportan ningún beneficio, no ya para la empresa sino para el conjunto de la sociedad. Si ya han alcanzado los objetivos de seguridad prefijados, es mejor aplicarlos a actividades que comporten beneficios más elevados. Por tanto, es necesario buscar esa optimización.

En la realidad, como se verá más adelante, para los escenarios accidentales con consecuencias graves (que cada empresa puede definir de acuerdo con su metodología) se calculan, por un lado, las inversiones por realizar y los costes asociados, y por otra, los beneficios de la actuación.

Un problema que se presenta es cómo determinar este beneficio. Se han propuesto varias maneras de medirlo, pero si partimos de la base de que la mejora de la seguridad no se puede entender separada de la mejora de la calidad y la productividad, es difícil precisar (en este caso, deberíamos decir «calcular con exactitud») el valor real.

El Health and Safety Executive (HSE) en su documento «Cost Benefit (CBA) checklist» (HSE, 2009) indica los criterios que cree que deben aplicarse en un análisis coste-beneficio (ACB) para determinar los costes y las inversiones razonables para hacer frente a un accidente potencial catalogado como grave.

En cuanto a los beneficios, el HSE incluye en dicho documento una tabla de 2003 con valores de beneficios que se obtienen por el hecho de evitar muertes o heridos de consideración diversa al implantar medidas de reducción de riesgo. Así, a título indicativo:

- una muerte: 1.336.800 £ (el doble si es un cáncer)
- incapacidad permanente: 207.200 £
- herido grave: 20.500 £
- herido leve: 300 £
- enfermedad (+ 1 semana): 2.300 £ + 180 £ por día de ausencia

Con un análisis de riesgo se podría calcular el número de víctimas (o en general, las consecuencias de todo tipo) que conllevaría un escenario accidental analizado. También se debería determinar con qué probabilidad anual o frecuencia tendría lugar este accidente.

Supongamos que el cálculo sobre una explosión en un reactor químico, que puede pasar con una frecuencia de  $1 \cdot 10^{-5}$  ocasiones/año (una vez cada cien mil años), da como resultado tres muertos, ocho heridos graves y doce leves.

Considerando el tiempo de vida del reactor de veinte y cinco años, los «beneficios» obtenidos serían (donde oc es ocasiones):

$$25 \text{ años} \times 1 \cdot 10^{-5} \text{ oc/año} (3 \text{ muertos/oc} \times 1.336.800 + 8 \text{ heridos graves/oc} \times 20.500 + 12 \text{ heridos leves/oc} \times 300) = 1.044 \text{ £}$$

El total de 1.044 £ sería el beneficio que se obtendría por no tener víctimas al haber eliminado la explosión del reactor.

Ahora bien, si un accidente, como es el caso del ejemplo, puede tener consecuencias graves, el resultado se debe multiplicar por un factor de 10 para obtener lo que sería razonable gastar para evitar el accidente. En este caso, unas 10.000 £ (11.800 €).

Si extrapolamos el ejemplo de aplicación del método del HSE para tener en cuenta los daños materiales, la cantidad que se debe invertir es muy superior, pero no tanto por el valor del reactor químico que ha estallado, sino, sobre todo, por la pérdida de producción durante el tiempo de parada.

A modo de ejemplo, un accidente como el descrito puede suponer un tiempo de parada mínimo de tres meses. Si en el reactor se producen 50.000 t/a de una sustancia que se vende a 1 €/kg, se dejarían de ingresar 17 M €. Supongamos que para reparar los daños la empresa se gasta 3 M €. El coste total sería de 20 M €. Los «beneficios» por este concepto serían de:

$$25 \text{ años} \times 1 \cdot 10^{-5} \text{ oc/año} \times 20 \text{ M €} = 5.000 \text{ €}$$

Con el factor de 10, serían 50.000 € que sumados a los 11.800 € calculados más arriba daría un total de 61.800 €.

Esta sería la cantidad que la empresa tendría que gastar para reducir la probabilidad del escenario accidental grave hasta un valor despreciable. Lo más normal

es cubrir el accidente catastrófico con una póliza de seguros, externalizando los costes y los beneficios.

La manera apropiada de reducir costes de accidentes en una empresa es aplicar políticas preventivas. La auténtica política de seguridad busca minimizar el riesgo mediante la prevención.

## 5. CRISIS Y MANTENIMIENTO

Hay estadísticas al alcance sobre las causas de los accidentes graves en el sector de riesgo tecnológico que muestran con claridad que la principal causa es un fallo mecánico, seguida del error humano. El fallo mecánico puede ser debido a un mantenimiento inadecuado. De ahí la importancia de llevar a cabo un buen mantenimiento para minimizar riesgos.

Una empresa en crisis puede estar tentada de reducir la partida destinada al mantenimiento pero, como se demostrará, esta política conlleva un incremento innecesario del riesgo que no resuelve el problema de fondo y, en cambio, puede suponer graves consecuencias económicas y personales.

### 5.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Podemos distinguir entre tres tipos de mantenimiento (Renau, 2010):

- a) *Mantenimiento correctivo*: proviene de la necesidad de intervención y reparación de las averías. Llevar un buen registro permite sacar conclusiones sobre seguridad: si un elemento falla más que otros se deberán averiguar las causas y, si es necesario, sustituirlo por otro más eficiente.
- b) *Mantenimiento preventivo*: se llevan a cabo inspecciones periódicas de los elementos de una instalación para repararlos o sustituirlos antes de que la avería se produzca. Como el elemento causante del fallo se ha eliminado, se reduce la probabilidad de fallo. Es necesario que el servicio de mantenimiento lleve un control exhaustivo del funcionamiento de los equipos y haya podido deducir —los suministradores de maquinaria suelen dar información al respecto— la duración esperada de los diferentes elementos.
- c) *Mantenimiento predictivo*: se basa en la medición continuada de variables o parámetros que configuran el funcionamiento de una máquina o instalación. Por ejemplo, la medición de las vibraciones de un equipo rotativo permite controlar en todo momento el estado del equipo y fijar acciones preventivas con más fiabilidad. Esta categoría de mantenimiento necesita tecnología más avanzada pero procura más tiempo entre la detección de un posible fallo y el fallo en sí, lo que permite planificar mejor los trabajos y adquirir los materiales necesarios. El proceso productivo queda sin duda menos afectado por este mantenimiento.

## 5.2 BASE MATEMÁTICA

La probabilidad de que un componente no falle durante un intervalo de tiempo (0, t) está determinada por la expresión siguiente:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

donde R = fiabilidad (del inglés *reliability*)

Cuando t tiende a infinito, la fiabilidad es cero, o sea, que la ecuación muestra la tendencia de un elemento a estropearse con el paso del tiempo.

$\lambda$  = tasa de fallos que se expresa como fallos/unidad de tiempo. Cuanto mayor sea, más rápida será la tendencia al fallo.

La probabilidad de fallo es el complemento de la fiabilidad, es decir:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

El intervalo de tiempo entre dos fallos, conocido con la sigla MTBF (*mean time between failures*), puede determinarse con la expresión siguiente:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

El valor de  $\lambda$  no es constante. Muchos componentes tienen una tasa de fallos que varía con el tiempo: al inicio, la tasa es elevada (mortalidad infantil) y baja hasta un valor más o menos constante que se mantiene durante un período determinado. Hacia el final de la vida útil, la tasa vuelve a incrementarse (vejez).

Para minimizar el riesgo de un accidente en un establecimiento industrial, habrá que reducir en lo posible la tasa de fallos de los componentes de la instalación.

Hay una diferencia fundamental entre lo que se conoce como fallos revelados y los no revelados o latentes. Los revelados son obvios pero hay fallos que no se conocen hasta que los elementos se necesitan. Es el caso de una alarma que avisa de que algo está fallando. Por ejemplo, una lucecita, la conocida como reserva, que indica que el nivel del depósito de gasolina en el coche es bajo: si nos fiamos y no funciona, podemos encontrarnos con que nos quedamos sin gasolina. Los fallos no revelados o latentes sólo pueden ponerse de manifiesto con una inspección o mantenimiento.

La disponibilidad de un sistema (A, del inglés *availability*) es la probabilidad de que el componente o proceso estén funcionando. La indisponibilidad (U, de *unavailability*) es el complemento a la disponibilidad. Se puede llegar a la conclusión de que por fallos revelados:

$$U = \lambda \tau_r \quad (4)$$

$$A = \lambda \tau_o \quad (5)$$

donde  $\tau_r$  = tiempo de reparación y  $\tau_o$  = tiempo de operación

Para fallos no revelados:

$$U = \frac{1}{2} \lambda \tau_i \quad (6)$$

donde  $\tau_i$  = intervalo de inspección

Cuando  $\tau_i$  aumenta, la indisponibilidad del sistema también lo hace. Es decir, cuando el mantenimiento se hace peor (por ejemplo, para ahorrar dinero, en lugar de hacer las inspecciones cada mes, se hacen cada dos meses), el sistema está menos disponible.

### 5.3 EJEMPLO

Se ha determinado mediante técnicas especializadas que un sistema complejo formado por alarmas e interruptores de emergencia tiene una tasa de fallos de 0,1 fallos/año. El número de inspecciones que se lleva a cabo es de una vez al mes (es decir, un intervalo de inspecciones de  $1/12 = 0,083$  años). Se quiere comprobar qué influencia tiene en la probabilidad de fallo del sistema la reducción del número de inspecciones anuales y el cambio del sistema por otro con tasas de fallo superiores.

El sistema debe estar siempre preparado para actuar pero sólo lo hace en caso de emergencia. La indisponibilidad (la probabilidad de que el sistema de alarmas falle en el momento en que el proceso solicita su servicio) sería, de acuerdo con (6):

$$U = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot 0,083 = 4,15 \cdot 10^{-3}$$

es decir, una probabilidad de fallo —o de no respuesta del sistema cuando se le requiera— del 0,415%.

Si por ahorrar dinero se disminuye el número de inspecciones y se hace una cada seis meses (es decir, un intervalo de inspecciones de 0,5 años), la probabilidad de fallo sería:

$$U = \frac{1}{2} \cdot 0,1 \cdot 0,5 = 0,025$$

es decir, con una probabilidad de fallo del 2,5%.

Esta indisponibilidad es seis veces mayor que la anterior, lo que significa que el incremento del riesgo de fallo global del sistema y, por tanto, el de un accidente podría ser significativo.

Si, por otro lado, a medida que van fallando los elementos del sistema se van sustituyendo por otros de inferior calidad, el resultado es un sistema menos segu-

ro. Si, por ejemplo, los elementos nuevos tuvieran una tasa de 0,2 fallos/año, en lugar de 0,1 fallos/año, la indisponibilidad se duplicaría.

Esto quiere decir que si, para ahorrar costes, reducimos el número de inspecciones de una al mes a dos al año, y los elementos que se van sustituyendo tienen una tasa de fallos el doble que los anteriores, la indisponibilidad sería doce veces mayor.

## 6. CONCLUSIONES

La crisis económica actual puede traer como consecuencia un incremento del riesgo de las empresas productivas y del transporte de mercancías peligrosas si se aprovecha la coyuntura para recortar presupuestos en el ámbito de la seguridad.

No es seguro que las estadísticas de estos años muestren que esto sea así. Seguramente en sectores muy específicos como el de la construcción se verá una reducción del número de accidentes totales, pero quizás nos encontraremos con un incremento del número de accidentes por hora trabajada si por otro lado el ambiente de trabajo puede no ser el más adecuado debido a las tensiones internas que muchos están viviendo en el ámbito laboral y/o personal.

Pero visto desde otra óptica, un momento como el actual puede ser el ideal para corregir los errores cometidos en el pasado y aplicar políticas de prevención que eviten el accidente desde su raíz.

Es completamente necesario conocer las causas básicas de los accidentes y la evolución desde el inicio hasta llegar al final de la cadena accidental. Este conocimiento da información al personal técnico en seguridad para comprobar los puntos débiles.

Para tomar una decisión fundamentada, los gestores de la seguridad han de analizar los costes que los accidentes pueden suponer para su empresa y, por tanto, si dan la vuelta al calcetín, los beneficios que obtendrían con una gestión correcta de la seguridad y una política de prevención de accidentes. Junto a ello, deberán determinar las inversiones que se deben realizar y los gastos anuales necesarios para mantener esta política.

Pero, además, actuar en este sentido significa una productividad mayor, ya que un entorno de trabajo favorable y un personal motivado es vital para conseguir los objetivos de producción y de calidad fijados por la empresa.

## BIBLIOGRAFÍA

CORTÉS, J.M. *Técnicas de prevención de riesgos laborales*. 2a ed. Madrid: Tébar Flores, 1997, p. 28-29.

OFICINA INTERNACIONAL DEL TREBALL (OIT). *Mensaje de Juan Somavia, director general de la OIT*, 28 de abril de 2010. <http://www.un.org/es/events/safeworkday/oitmessage.shtml>

REINO UNIDO. Health and Safety Executive (HSE) *Cost Benefit Analysis (CBA) checklist*, 2009. <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarpcheck.htm>

RENAU, J.M. «La seguretat i el manteniment en temps de crisi». *Informe 2009 de l'Observatori del Risc*. Institut d'Estudis de la Seguretat, p. 67-71.