**Análisis del Riesgo Medioambiental en el ámbito de la Directiva SEVESO**

******

Blas José Galván González

**INDICE.**

[1. Introducción. 1](#_Toc112664741)

[1.1. Algunas definiciones de interés. 2](#_Toc112664742)

[1.2. Los accidentes graves. 3](#_Toc112664743)

[1.3. Reseña histórica. 3](#_Toc112664744)

[1.4. Normas de referencia en relación a los accidentes graves. 5](#_Toc112664745)

[1.5. Real Decreto 840/2015. 5](#_Toc112664746)

[1.5.1. Ejemplo de aplicación. 7](#_Toc112664747)

[1.5.2. Ejemplo de aplicación. 8](#_Toc112664748)

[2. El Análisis del Riesgo Medioambiental. 10](#_Toc112664749)

[2.1. Cálculo del Índice de Consecuencias Ambientales. 12](#_Toc112664750)

[2.1.1. Peligrosidad de la sustancia. 12](#_Toc112664751)

[2.1.1.1. Toxicidad. 13](#_Toc112664752)

[2.1.1.2. Volatilidad. 15](#_Toc112664753)

[2.1.1.3. Bioconcentración 17](#_Toc112664754)

[2.1.1.4. Adsorción. 18](#_Toc112664755)

[2.1.1.5. Biodegradación. 19](#_Toc112664756)

[2.1.1.6. Sinergia. 20](#_Toc112664757)

[2.1.1.7. Estandarización de la peligrosidad de la sustancia. 20](#_Toc112664758)

[2.1.2. Cantidad de sustancia implicada. 21](#_Toc112664759)

[2.1.3. Área afectada por el accidente 23](#_Toc112664760)

[2.1.4. Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico. 23](#_Toc112664761)

[2.1.4.1. Tipo de entorno afectado. 23](#_Toc112664762)

[2.1.4.2. Protección de especies. 24](#_Toc112664763)

[2.1.4.3. Impacto de actividades económicas. 25](#_Toc112664764)

[2.1.4.4. Alteración de recursos naturales e infraestructuras. 25](#_Toc112664765)

[2.1.4.5. Población afectada y existencia de población sensible. 26](#_Toc112664766)

[2.1.5. Determinación del Índice de Consecuencias Ambientales. 27](#_Toc112664767)

[2.2. Cálculo de Probabilidades. 30](#_Toc112664768)

[2.3. Determinación del Riesgo Ambiental. 38](#_Toc112664769)

[3. Conclusiones. 41](#_Toc112664770)

[4. Bibliografía. 42](#_Toc112664771)

**FIGURAS**

[Figura 1: Evolución de un árbol de sucesos. 32](#_Toc112664382)

[Figura 2: Árbol de sucesos, fuga de líquido inflamable de baja volatibilidad (cualitativo). 34](#_Toc112664383)

[Figura 3: Árbol de sucesos, fuga de líquido inflamable de baja volatibilidad (cuantitativo). 36](#_Toc112664384)

[Figura 4: Árbol de sucesos, fuga de gas tóxico (cualitativo). 37](#_Toc112664385)

[Figura 5: Árbol de sucesos, fuga de gas tóxico (cuantitativo). 38](#_Toc112664386)

[Figura 6: Evaluación del riesgo ambiental. 39](#_Toc112664387)

[Figura 7: Evaluación del riesgo ambiental para el caso de ejemplo. 41](#_Toc112664388)

**TABLAS**

[Tabla 1: Algunos accidentes graves ocurridos a lo largo de la historia. 4](#_Toc112664389)

[Tabla 2: Umbrales para la designación del nivel de afectación por la Directiva 2012/18/UE. 8](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664390)

[Tabla 3: Umbrales para la designación del nivel de afectación por la Directiva 2012/18/UE. 9](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664391)

[Tabla 4: Factores para determinar el Índice de Consecuencias Ambientales. 12](#_Toc112664392)

[Tabla 5: Toxicidad para sustancias peligrosas para el medio ambiente. 13](#_Toc112664393)

[Tabla 6: Puntuación para la toxicidad de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 13](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664394)

[Tabla 7: Toxicidad para sustancias no clasificadas como peligrosas para el medio ambiente. 14](#_Toc112664395)

[Tabla 8: Puntuación para la toxicidad de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 15](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664396)

[Tabla 9: Volatilidad de las sustancias. 16](#_Toc112664397)

[Tabla 10: Puntuación para la volatilidad de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 16](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664398)

[Tabla 11: Bioconcentración de las sustancias. 17](#_Toc112664399)

[Tabla 12: Puntuación para la bioconcentración de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 17](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664400)

[Tabla 13: Adsorción de las sustancias. 18](#_Toc112664401)

[Tabla 14: Puntuación para la adsorción de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 18](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664402)

[Tabla 15: Biodegradación de las sustancias. 19](#_Toc112664403)

[Tabla 16: Puntuación para la biodegradación de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 19](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664404)

[Tabla 17: Valoración de la sinergia de las sustancias. 20](#_Toc112664405)

[Tabla 18: Valoración de la cantidad de sustancia. 21](#_Toc112664406)

[Tabla 19: Valoración de la cantidad de sustancia. 22](#_Toc112664407)

[Tabla 20: Puntuación para la cantidad implicada de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente. 22](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664408)

[Tabla 21: Valoración del área afectada. 23](#_Toc112664409)

[Tabla 22: Valoración del tipo de entorno afectado. 24](#_Toc112664410)

[Tabla 23: Valoración del área afectada. 25](#_Toc112664411)

[Tabla 24: Valoración del impacto en actividades económicas. 25](#_Toc112664412)

[Tabla 25: Valoración de la alteración de recursos naturales e infraestructuras. 26](#_Toc112664413)

[Tabla 26: Valoración de la población afectada. 26](#_Toc112664414)

[Tabla 27: Valoración del impacto en población sensible. 27](#_Toc112664415)

[Tabla 28: Valoración del Índice de Consecuencias Ambientales. 27](#_Toc112664416)

[Tabla 29: Valoración de la peligrosidad del gasoil. 28](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664417)

[Tabla 30: Valoración de la cantidad de gasoil. 29](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664418)

[Tabla 31: Valoración para el área afectada. 29](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664419)

[Tabla 32: Valoración del Índice de Consecuencias Ambientales. 29](file:///C%3A%5CUsers%5CMyAdmin%5CDesktop%5CBLAS%5CSEMANA7%5CREF%20AR%20MEDIOAMBIENTE.docx#_Toc112664420)

[Tabla 33: Relación de accidentes graves ocurridos a lo largo de la historia. 31](#_Toc112664421)

[Tabla 34: Cálculo de la frecuencia esperada de consecuencias. 36](#_Toc112664422)

[Tabla 35: Cálculo de la frecuencia esperada de consecuencias. 38](#_Toc112664423)

[Tabla 36: Valoración de la probabilidad de ocurrencia de un accidente. 38](#_Toc112664424)

1. Introducción.

El propósito de la presente acción formativa es el de aproximar e introducir a sus participantes en el Análisis del Riesgo Medioambiental aplicado a industrias que gestionan mercancías peligrosas en cantidades importantes. No obstante, como se comprobará, esta metodología es extrapolable a otros ámbitos de la industria, siempre y cuando el principal peligro lo conforme una operación o proceso en el que intervengan sustancias peligrosas (transporte en depósitos por tierra, mar y aire, trasiego por líneas o tuberías,...).

La Directiva 96/82/CE (Seveso II) relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas fue adoptada el 9 de diciembre de 1996 por el Consejo de la Unión Europea. Esta derogaba a la anterior Directiva 82/501/CEE (Seveso I). La Directiva SEVESO II tiene el doble objetivo de prevenir aquellos accidentes graves en donde intervengan sustancias peligrosas y limitar las consecuencias de tales accidentes no sólo a la población (aspectos de seguridad y salud) sino también al medioambiente (aspectos ambientales). La amenaza al medioambiente es un aspecto importante que fue reforzado con la inclusión, por primera vez, de sustancias clasificadas como peligrosas para el medio ambiente (acuático) en el ámbito de la Directiva. La nueva Directiva 2012/18/UE (SEVESO III) enfatiza aún más en los esfuerzos para el control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias.

Es necesario por tanto disponer de una metodología dirigida hacia el análisis del riesgo medioambiental de los establecimientos industriales afectados por la citada Directiva. Son varios los estados de la Unión Europea (Reino Unido, Holanda, Suecia, etc.) que, paralelamente a la trasposición de estas Directivas a su ordenamiento jurídico interno, han publicado guías y artículos sobre los aspectos relacionados con el análisis del riesgo medioambiental como parte integrante del informe de seguridad que las industrias que gestionan sustancias peligrosas en determinadas cantidades deben elaborar. Esta metodología nace en Europa, sin embargo, la problemática en relación a los accidentes graves en industrias que gestionan sustancias peligrosas es similar en otras partes del planeta, por lo que el análisis que se presenta es aplicable a otras partes del mundo.

* 1. Algunas definiciones de interés.

Se aportan a continuación algunas definiciones con el objeto de normalizar la terminología empleada.

* **Accidente grave:** Cualquier suceso, como una emisión en forma de fuga o vertido, un incendio o una explosión importantes, que resulte de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento que alberga sustancias peligrosas en cantidades que impliquen su afectación por la DIRECTIVA 2012/18/UE, que suponga un riesgo grave, inmediato o diferido, para la salud humana, los bienes, o el medio ambiente, dentro o fuera del establecimiento y en el que intervengan una o varias sustancias peligrosas.
* **Consecuencia:** Suceso indeseado con capacidad de producir daño.
* **Escenario del suceso iniciador:** Condiciones de ocurrencia de un suceso iniciador y características del entorno (equipamiento, elementos de seguridad, proximidad a otras instalaciones o equipos,...).
* **Peligro:** La capacidad intrínseca de una sustancia peligrosa o la potencialidad de una situación física para ocasionar daños a la salud humana, los bienes o al medio ambiente.
* **Riesgo:** La probabilidad de que se produzca un efecto específico en un período de tiempo determinado o en circunstancias determinadas.
* **Secuencia accidental:** Evolución de un incidente, que comienza con un suceso iniciador y provoca una consecuencia tras una cadena de sucesos.
* **Suceso iniciador:** Ocurrencia anómala que puede conducir a un accidente. El suceso iniciador puede ser debido tanto a causas internas (error en el funcionamiento de equipo, error humano,...) como externas (fenómeno natural adverso, impactos por accidente en industrias vecinas o medios de transporte, sabotajes,...).
* **Vulnerable:** Que puede ser dañado.
	1. Los accidentes graves.

De manera genérica, se entiende como accidente grave, aquel que tiene repercusiones sobre las personas y el medioambiente, provocando la emisión de sustancias tóxicas o de energía por encima de lo que se considera normal. La emisión de energía suele ir acompañada de fenómenos peligrosos del tipo térmico (incendios) o mecánico (detonaciones, deflagraciones,...), favoreciendo en ocasiones la dispersión de los agentes tóxicos involucrados. En estos pone el foco la Directiva SEVESOIII (2012/18/UE) Europea, sobre medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, quedando definidos los mismos como “un hecho, como una emisión, un incendio o una explosión importantes, que resulte de un proceso no controlado durante el funcionamiento de cualquier establecimiento al que se aplique la presente Directiva, que suponga un peligro grave, ya sea inmediato o diferido, para la salud humana o el medio ambiente, dentro o fuera del establecimiento, y en el que intervengan una o varias sustancias peligrosas” [1]. Asimilar los conceptos fundamentales de la citada Directiva permitirá al alumno hacer el correspondiente ejercicio de abstracción que le permita afrontar con garantías la problemática en el país en el que pudiera desarrollar su actividad profesional.

* 1. Reseña histórica.

La mayoría de los accidentes que se producen en la Industria, no tienen efectos que sobrepasen los límites de la propia instalación, por lo que tienden a afectar al personal y a bienes materiales propios, pudiendo provocar muertes, heridos y pérdidas económicas de diversa consideración, en un montante, en conjunto, mayor en comparación a aquellos accidentes cuyas consecuencias sí superan los límites de la propia instalación. Sin embargo, aún siendo menor el número de accidentes en los que las consecuencias sobrepasan los límites de la propia instalación, pudiendo presentar en conjunto un montante menor de pérdida de vidas humanas y de bienes materiales, cierto es que en sí mismos, presentan un balance de pérdidas escandaloso en términos sociales. A continuación, se describen algunos de los mismos, extraídos de la publicación “LEES´ LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES”, editado por Sam Mannam [2].

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Localización** | **Instalación** | **Sustancia** | **Consecuencia** | **Muertos/heridos** | **Coste ($)** |
| 1917, Halifax (Canadá) | Buque | Municiones | Explosión | 1936/8000 | - |
| 1921, Oppau (Alemania) | Industria | Nitrato de Amonio | Explosión | 561/- | - |
| 1948, Ludwigshafen (Alemania) | Depósito | Dimetil-eter | Explosión | 207/3818 | - |
| 1968, Pernis (Holanda) | Depósito | Hidrocarburo | Explosión | 2/85 | 97.7 mill |
| 1969, Houston (USA) | Tubería | Gas Natural | VCE | -/9 | - |
| 1976, Seveso (Italia) | Industria | Mezcla de químicos | Fuga | 0/- | - |
| 1978, San Carlos (España) | Cisterna | Propileno | Incendio | 216/200 | - |
| 1984, Bhopal (India) | Tanque | Isocianato de Metilo | Fuga | 4000/- | - |

*(Fuente: LEES´ LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES)*

1. Algunos accidentes graves ocurridos a lo largo de la historia.

Estos accidentes no forman parte únicamente del pasado. A pesar de que los niveles en la Seguridad Industrial son cada vez más elevados, se siguen produciendo accidentes de graves consecuencias.

* **El 11 de septiembre de 2005**, varias explosiones tuvieron lugar en el parque de almacenamiento de Buncefield (Reino Unido), seguidas de un gran incendio. 40 personas resultaron heridas. Los daños materiales afectaron tanto a propiedades comerciales como residenciales, siendo la zona evacuada por los servicios de emergencia. El fuego resistió varios días. El fallo en el sensor de nivel ocasionó el sobrellenado de un tanque.
* **El 2 de abril de 2015**, la explosión de un tanque de combustible provoca un gran incendio en la localidad de Santos en Sao Paulo, donde se encuentra el mayor puerto brasileño.
* **El 7 de febrero de 2016**, el incendio de una plataforma petrolera ocasiona la muerte de dos personas, mientras que nueve resultan heridas. El incendio ocurrió en el área de compresión de la plataforma Abkatún A en los campos productores bajo el lecho marino, frente al estado mexicano de Campeche (sureste), a menos de 100 metros de profundidad en el Golfo de México.

De la tabla e información aportada anteriormente, se deduce la peligrosidad de incidentes relacionados con sustancias peligrosas, empleadas en procesos e instalaciones industriales. El efecto de las mismas en caso de accidente se manifiesta a modo de fenómenos peligrosos de diferente tipología, con el consecuente riesgo para las personas, bienes materiales y medioambiente.

* 1. Normas de referencia en relación a los accidentes graves.

La evolución de la Industria y por consiguiente de los peligros asociados, y la importancia de la seguridad para la sociedad, ha obligado a que se haya desarrollado todo un marco legislativo en relación a esta temática. Cada Estado ha de disponer de legislación específica al respecto, o en su defecto, los técnicos implicados en el desarrollo de herramientas de planificación ante emergencias han de aplicar leyes y reglamentos que garanticen la seguridad propia y del entorno en el que un Establecimiento Industrial se encuentra integrado.

En Europa, la Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo regula la gestión de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. Esta se ha de trasponer al ordenamiento jurídico de cada país miembro de la Unión Europea. En el caso de España esto se realiza por medio del 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 [3].

* 1. Real Decreto 840/2015.

El Real Decreto 1254/1999 incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva Europea 96/82/CE del Consejo relativa a control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, conocida como Seveso II. Tras el accidente ocurrido en la localidad italiana de Seveso (incluido en la reseña histórica), la Unión Europea adopta la Directiva 82/5001/CEE, conocida como Seveso I. Esta estaba más enfocada hacia la protección de las personas que hacia la protección de la flora y fauna. Con la Directiva Seveso II se refuerza la importancia de la amenaza al medioambiente [4].

Con el fin de adaptarse a un nuevo sistema de clasificación de las sustancias peligrosas (Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo), la Comisión Europea consideró necesaria la revisión fundamental de la Directiva Seveso II, aprobando la Directiva 2012/18/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, que se traspone al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 840/2015 (que entre otras cosas deroga el Real Decreto 1254/1999).

El mismo dispone las obligaciones del industrial, al que define como *“cualquier persona física o jurídica que explota o controla un establecimiento o instalación o en la que, cuando la normativa así lo disponga, se haya delegado el poder económico o decisorio determinante sobre la explotación técnica del establecimiento o la instalación”.* En función de la cantidad de sustancia/s peligrosa/s presente/s, con umbrales establecidos por medio de las partes 1 y 2 del anexo I del Real Decreto (similares a las indicadas en la Directiva Europea), el industrial estará obligado a elaborar un Informe de Seguridad. En todos los casos en los que a un establecimiento industrial le sea de aplicación este Real Decreto (o Directiva Europea), se precisa de la elaboración de un **Análisis del Riesgo Medioambiental**.

El **Análisis del Riesgo** se concibe como una herramienta de ayuda al control del riesgo, ya que permite, entre otros aspectos, la identificación de acciones encaminadas a la prevención de la ocurrencia de accidentes, así como la planificación de las actuaciones en caso de que este se produzca, con el propósito de minimizar las consecuencias de la ocurrencia del citado accidente.

Se plantean a continuación algunos ejemplos sencillos que permitirán al alumno hacerse una idea sobre el alcance del nivel de afectación de la Directiva 2012/18/UE a diferentes industrias.

* + 1. Ejemplo de aplicación.

**EJEMPLO 1:** **Una industria dispone de un depósito en el que se almacena Cloro en una cantidad máxima de 12 Toneladas. Esta es la única sustancia peligrosa que almacena, no empleando otras. Se pretende comprobar si esta industria está afectada por la Directiva 2012/18/UE.**

Esta cuestión se resuelva atendiendo a las partes 1 y 2 del Anexo I de la Directiva 2012/18/UE (similar a las partes 1 y 2 del Anexo I del Real Decreto 840/2015). Con el propósito de mejorar la comprensión de este punto por parte del alumno, se recomienda la consulta del Anexo I de la citada Directiva (o Real Decreto). Esta está disponible a través de internet.

La parte 1 hace referencia a aquellas sustancias peligrosas que no se nombran de manera específica en la parte 2. En este caso, el Cloro es una de las sustancias nombradas en la parte 2. Por esta razón será a esta parte a la que se preste atención, con el objeto de determinar el nivel de afectación.

La parte 2 dispone de una tabla de cuatro columnas. En la denominada "**Columna 1**" se citan las diferentes sustancias peligrosas. A continuación aparece una columna en la que se hace referencia al "**Número CAS**". El número de registroCAS es una identificación numérica única para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones. Para el caso tomado como ejemplo, se observa que el número CAS por medio del cual se identifica el Cloro es 7782-50-5. La "**Columna 2**" y "**Columna 3**" muestran respectivamente los umbrales que determinan el nivel de afectación de la industria por los requisitos que se desprenden de la Directiva, de modo que:

* Aquellas industrias que almacenen cantidades de sustancia superiores a las indicadas en la "Columna 3" tendrán que cumplir unos requisitos en materia de seguridad de nivel superior.
* Aquellas industrias que almacenen cantidades de sustancia superiores a las indicadas en la "Columna 2" pero inferiores a las indicadas en la "Columna 3" tendrán que cumplir unos requisitos en materia de seguridad de nivel inferior.
* Aquellas industrias que almacenan cantidades de sustancia inferiores a las indicadas en la "Columna 2" no estarán afectadas por la presente Directiva.

En el caso de ejemplo, se muestra a continuación la cantidad almacenada en la industria, así como los umbrales establecidos por las Columnas 2 y 3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Columna 1** | **CAS** | **Cantidad almacenada (Toneladas)** | **Columna 2 (Toneladas)** | **Columna 3 (Toneladas)** |
| Cloro | 7782-50-5 | 12 | 10 | 25 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Umbrales para la designación del nivel de afectación por la Directiva 2012/18/UE.

Como se observa, la cantidad almacenada de 12 Toneladas es superior a la indicada en la Columna 2 e inferior a la indicada en la Columna 3. Esto indica que la industria en cuestión ha de cumplir los requisitos que se establecen para industrias de nivel inferior. Esto implica el llevar a cabo una serie de acciones en materia de seguridad que se describen a lo largo de la Directiva, que por otra parte inciden sobre el alcance del Análisis del Riesgo que se precisa.

* + 1. Ejemplo de aplicación.

**EJEMPLO 2:** **Una industria dispone de varios depósitos que contienen diversos productos peligrosos precisos para el desarrollo de su proceso productivo. Estos depósitos se describen a continuación:**

* **Un depósito de capacidad 4 Toneladas de una sustancia que presenta una Toxicidad Aguda de "Categoría 1".**
* **Un depósito de capacidad 40 Toneladas de una sustancia que presenta una Toxicidad Aguda de "Categoría 2".**
* **Un depósito de capacidad 40 Toneladas de una sustancia que presenta una Toxicidad Específica en determinados órganos (STOT) - Exposición Única "STOT SE Categoría 1".**

**Se pretende comprobar si esta industria está afectada por la Directiva 2012/18/UE.**

Esta cuestión se resuelve atendiendo a la parte 1 del Anexo I de la Directiva 2012/18/UE (similar a la parte 1 del Anexo I del Real Decreto 840/2015). Las sustancias que no se nombran directamente en la parte 2 (como es el caso) estarán clasificadas conforme al Reglamento (CE) nº 1272/2008.

Para el caso de ejemplo, se muestra a continuación la cantidad almacenada en la industria, así como los umbrales establecidos por las Columnas 2 y 3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Columna 1** | **Cantidad** **almacenada** **(Toneladas)** | **Columna 2** **(Toneladas)** | **Columna 3****(Toneladas)** |
| H1 TOXICIDAD AGUDA – Categoría 1, todas las vías de exposición | 4 | 5 | 20 |
| H2 TOXICIDAD AGUDA – Categoría 2, todas las vías de exposición | 40 | 50 | 200 |
| H3 TOXICIDAD ESPECÍFICA EN DETERMINADOS ÓRGANOS (STOT) – EXPOSICIÓN ÚNICA STOT SE Categoría 1 | 40 | 50 | 200 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Umbrales para la designación del nivel de afectación por la Directiva 2012/18/UE.

Como se observa, en ninguno de los casos la cantidad de sustancia implicada supera el umbral designado por la "Columna 2". En el caso de que en una industria no esté presente ninguna sustancia peligrosa en cantidad igual o superior a la cantidad umbral correspondiente, se aplicará la siguiente regla para determinar si son aplicables a dicha industria los requisitos pertinentes de la presente Directiva.

*"Se aplicará la Directiva a los establecimientos de nivel superior si la suma:*

*q1/QU1 + q2/QU2 + q3/QU3 + q4/QU4 + … es igual o mayor que 1, siendo:*

 *qi = la cantidad de la sustancia peligrosa o categoría de sustancias peligrosas i contemplada en la parte 1 o la parte 2 del anexo I de la Directiva,*

 *QUi = la cantidad umbral pertinente para la sustancia peligrosa o categoría i de la columna 3 de la parte 1 o de la columna 3 de la parte 2 del anexo I de la Directiva.*

*Se aplicará la Directiva a los establecimientos de nivel inferior si la suma:*

*q1/QL1 + q2/QL2 + q3/QL3 + q4/QL4 + … es igual o mayor que 1, siendo:*

 *qi = la cantidad de la sustancia peligrosa o categoría de sustancias peligrosas i contemplada en la parte 1 o la parte 2 del anexo I de la Directiva,*

 *QLi = la cantidad umbral pertinente para la sustancia peligrosa o categoría i de la columna 2 de la parte 1 o de la columna 2 de la parte 2 del anexo I de la Directiva."*

Con el objeto se comprobar si a la industria del ejemplo le son de aplicación los requisitos referentes a establecimientos de nivel superior se realiza el siguiente cálculo:

*q1/QU1 + q2/QU2 + q3/QU3 = 4/20 + 40/200 + 40/200 = 0,6 < 1: No aplica.*

Como se observa, no son de aplicación en este caso los requisitos aplicables a establecimientos de nivel superior. Se comprueba a continuación si son de aplicación los requisitos aplicables a establecimientos de nivel inferior.

*q1/QU1 + q2/QU2 + q3/QU3 = 4/5 + 40/50 + 40/50 = 2,4 > 1: Si aplica.*

Como se observa, son de aplicación en este caso los requisitos para establecimientos de nivel inferior.

1. El Análisis del Riesgo Medioambiental.

Con el objetivo de analizar la vulnerabilidad del medio ambiente, el industrial debe realizar un análisis fundamentado en la identificación, caracterización y valoración sistemática y objetiva de cada uno de los componentes y factores relevantes del sistema de riesgo. Los cuatro componentes que constituyen el sistema de riesgo son:

* **Fuentes de riesgo.** La evaluación debe contemplar entre otros aspectos la peligrosidad potencial de la sustancia, los factores que condicionan su comportamiento ambiental y la cantidad potencial involucrada.
* **Sistemas de control primario.** Los sistemas de control primario son los equipos o medidas de control dispuestos por el industrial con la finalidad de mantener una determinada fuente de riesgo en condiciones de control permanente, de forma que no afecte significativamente al medio ambiente. La evaluación debe describir para cada fuente de riesgo los sistemas de control dispuestos y su eficacia, estimando qué cantidad de fuente de riesgo puede alcanzar el medio y en qué condiciones.
* **Sistemas de transporte.** La evaluación debe describir en qué casos las fuentes de riesgo pueden alcanzar el medio receptor y estimar si el transporte en el mismo (aire, agua superficial o subterránea, suelo), puede poner la fuente de riesgo en contacto con el receptor y la magnitud de la posible afección.
* **Receptores vulnerables.** La evaluación debe incluir una valoración del entorno natural, el entorno socioeconómico, y su afección. El industrial debe suministrar información suficiente de los aspectos anteriormente indicados y parametrizar cada uno de los componentes de los distintos sistemas de riesgo (fuente de riesgo, sistemas de control primario, sistemas de transporte y receptores vulnerables), con la finalidad de asociar a cada situación de riesgo un valor o índice de peligro.

La metodología empleada debe suministrar información suficiente de los aspectos anteriormente indicados y parametrizar cada uno de los componentes de los distintos sistemas de riesgo, con la finalidad de asociar a cada situación de riesgo un valor o índice de riesgo medioambiental (IRM) que deberá ser evaluado en función de los elementos que lo componen y frecuencia o probabilidad. Se define riesgo ambiental como la posibilidad de sufrir un daño, ya sea éste hacia instalaciones, personas o medio ambiente. De una manera matemática, se puede expresar el riesgo como el producto de la probabilidad de que ocurra un accidente por las consecuencias de dicho accidente.

*Riesgo = consecuencias x probabilidad*

La metodología que se expone en detalle en la presente formación fue propuesta por la Doctora en Ingeniería Química Juana María Delgado Saborit, publicada por MAPFRE en 2007 [5]. Así mismo se atiende a la Metodología para el Análisis de Riesgos Ambientales, publicada por la Dirección General de Protección Civil del Ministerio del Interior del Gobierno de España [4].

* 1. Cálculo del Índice de Consecuencias Ambientales.

A continuación, se expone un modo de obtener el **Índice de Consecuencias Ambientales**. Este se basa en la evaluación de dos factores; las fuentes de peligro y los receptores. Estos a su vez se subdividen en dos subfactores como se muestra a continuación.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Factor** | **Fuentes de Peligro** | **Receptores** |
| Subfactor 1 | Peligrosidad de la sustancia | Área afectada |
| Subfactor 2 | Cantidad de sustancia | Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Factores para determinar el Índice de Consecuencias Ambientales.
	* 1. Peligrosidad de la sustancia.

Para que exista un daño medioambiental tras un accidente grave, debe haber existido previamente una sustancia implicadacon un potencial de daño suficiente. Este daño es función de las propiedades intrínsecas de la sustancia. Para evaluar las **propiedades de las sustancias** se ha de atender a su toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción, biodegradación y sinergia. La metodología propuesta indica que la suma de estos factores aportará un valor entre 2 y 21. Para valorar estos parámetros, se atiende a los siguientes criterios.

* + - 1. Toxicidad.

La Directiva 67/548/CE identifica las sustancias clasificadas como peligrosas para el medio ambiente en función del tipo de frases «R». Esta Directiva quedó derogada por el Reglamento 1272/2008, no obstante, se ha considerado oportuno mantener esta doble nomenclatura para comprobar la posible equivalencia. A continuación, se muestra el modo en que se ha de valorar la toxicidad de las sustancias.

|  |  |
| --- | --- |
| **Medio acuático** | **Medio no acuático** |
| **Frases R** | **Reglamento 1272/2008** | **Puntuación** | **Frases R** | **Reglamento 1272/2008** | **Puntuación** |
| R50 | H400 | 10 | R54/57 | - | 10 |
| R50/53 | H400 - H401 | 10 | R54 | - | 10 |
| R51/53 | H411 | 8 | R55/57 | - | 8 |
| R52/R53 | H412 | 5 | R56/57 | - | 5 |
| R52 y/o R53 | H412 - H413 | 5 | R58 | - | 4 |
|  |  |  | R59 | EUH059 | 4 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Toxicidad para sustancias peligrosas para el medio ambiente.

**EJEMPLO 3:** A modo de ejemplo se muestran algunas sustancias clasificadas conforme al Reglamento 1272/2008 (este puede ser consultado a través de internet). Así mismo se les ha sido asignada la puntuación correspondiente en función de lo indicado en la tabla anterior.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **Reglamento 1272/2008** | **Puntuación** |
| Fosfuro de calcio | H400 | 10 |
| Ácido nonanoico | H412 | 5 |
| Clorato de Bario | H411 | 8 |
| Cloro | H400 | 10 |
| Hipoclorito de Calcio | H400 | 10 |
| Tetraclorometano | EUH059 | 4 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la toxicidad de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.

Existen por otra parte sustancias que no están clasificadas como peligrosas para el medioambiente. En este caso la toxicidad se valorará conforme a los valores toxicológicos LC50 EC50 o LD50. En el caso de no disponer de esta información se atenderá a su toxicidad en términos de "Muy tóxico", "Tóxico", "Nocivo" e "Irritante, Corrosivo".

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Toxicidad aguda (LC50 o EC50)** | **Toxicidad aguda (LD50)** | **Puntuación** | **Toxicidad** | **Puntuación** |
| LC50 o EC50 < 1 mg/l | LD50 < 5 mg/kg | 10 | Muy tóxico | 10 |
| 1 - 6 mg/l | 5 - 50 mg/kg | 8 | Tóxico | 6 |
| 6 - 30 mg/l | 50 - 500 mg/kg | 6 | Nocivo | 3 |
| 30 - 200 mg/l | 500 - 5000 mg/kg | 4 | Irritante, Corrosivo | 1 |
| 200 - 1000 mg/l | 5000 - 15000 mg/kg | 2 |  |  |
| LC50 o EC50 > 1000 mg/l | LD50 > 15000 mg/kg | 1 |  |  |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Toxicidad para sustancias no clasificadas como peligrosas para el medio ambiente.

**LD son las siglas de "Dosis letal". LD50 es la cantidad de un material que provoca la muerte del 50% (una mitad) de un grupo de animales de prueba. El LD50 es una forma de medir el envenenamiento potencial a corto plazo (toxicidad aguda) de un material.**

**LC son las siglas de "Concentración Letal". Para experimentos de inhalación (por ejemplo), la concentración del químico en el aire que mata el 50% de los animales de ensayo en un tiempo determinado (usualmente 4 horas) es el valor de LC50.**

**EC hace referencia a la "concentración efectiva máxima media". EC50 es la concentración de una sustancia a la cual el 50% de los animales de ensayo presentan su máximo efecto.**

**EJEMPLO 4:** A modo de ejemplo se muestran algunas sustancias clasificadas conforme al valor toxicológico. Así mismo se les ha sido asignada la puntuación correspondiente en función de lo indicado en la tabla anterior.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **Toxicología** | **Puntuación** |
| Cloro | LC50 = 0,032 mg/l (referente a pez) | 10 |
| Cloro | LC50 = 0,15 mg/l (referente a invertebrado acuático) | 10 |
| Cloro | EC50 = 0,001 mg/l (referente a microorganismos) | 10 |
| Cloro | Muy tóxico | 10 |
| Gasoil | LD50 = 5 mg/kg (referente a rata) | 8 |
| Gasoil | LD50 = 2 mg/kg (referente a conejo) | 10 |
| 1, 2, 4 - Trimetilbenceno | LC50 = 18 mg/l (referente a rata) | 6 |
| Xileno | LD50 = 4,5 mg/kg (referente a conejo) | 10 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la toxicidad de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.

Como se observa, se ha puntuado el cloro conforme a diferentes valores LC50 y EC50 disponibles en su Ficha de Seguridad (muestras de estas pueden ser consultadas a través de internet, como ejemplo consulte el enlace siguiente, que muestra una Ficha de Seguridad desde el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, dependiente del Ministerio de Empleo y Seguridad Social del Gobierno de España:

 http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/101a200/nspn0126.pdf

En la misma se refiere al Cloro como sustancia "Muy Tóxica").

* + - 1. Volatilidad.

La volatilidad de la sustancia se valora mediante la constante de Henry (coeficiente de reparto aire-agua). Se ha de calcular el Logaritmo de H, donde H es la constante de Henry en unidades de [atm m3/mol]. A continuación, se muestra el modo en que se ha de valorar la volatilidad de las sustancias.

|  |  |
| --- | --- |
| **Volatilidad log H (constante de Henry en atm.m3/mol)** | **Puntuación** |
| Log H < -3 | 5 |
| -3 ≤ log H < -1 | 4 |
| -1 ≤ log H < 1 | 3 |
| 1 ≤ log H < 2 | 2 |
| Log H ≥ 3 | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Volatilidad de las sustancias.

Para obtener estos valores existen publicaciones especializadas y herramientas que permiten acceder a esta información. El programa informático EPI Suite [6] facilita esta información.

**EJEMPLO 5:** A continuación, se muestra un ejemplo para valorar la volatilidad de una sustancia a partir de la herramienta EPI Suite. Esta puede ser descargada desde la web de la EPA de los Estados Unidos de América. Insertando el número CAS de una sustancia, la aplicación la localiza en su base de datos y mediante su proceso de cálculo aporta el valor requerido. Como ejemplo, se valora la volatilidad del fueloil, con número CAS 64741624. La aplicación, desde la base de datos experimental, aporta un valor para la constante de Henry de 4,57 x 10-7. El logaritmo de esta cantidad es de -6,34 por lo que la volatilidad de esta sustancia se puntúa con valor 5. A continuación se valora la volatilidad de algunas sustancias a modo de ejemplo:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **CAS** | **Constante de Henry** | **Log H** | **Puntuación** |
| Fueloil | 64741624 | 4,57 x 10-7 | -6,34 | 5 |
| Gasolina | 86290815 | 3,72 | 0,57 | 3 |
| Cloro | 7782505 | 2,45 x 10-2 | -1,61 | 4 |
| Benceno | 1330207 | 5,18 x 10-3 | -2,28 | 4 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la volatilidad de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.
	* + 1. Bioconcentración

La bioconcentración de la sustancia se valora mediante el valor de Log BCF. Al igual que en el caso anterior, se calculará el mismo a través del programa informático EPI Suite. Se valorará esta característica mediante el siguiente cuadro de puntuaciones:

|  |  |
| --- | --- |
| **Bioconcentración (log BCF) BCF - factor de bioconcentración** | **Puntuación** |
| Log BCF > 2 | 2 |
| 1 < log BCF ≤ 2 | 1 |
| log BCF ≤ 1 | 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Bioconcentración de las sustancias.

**EJEMPLO 6:** Continuando con el ejemplo anterior, se muestra como valorar la bioconcentración de una sustancia a partir de la herramienta EPI Suite. Se valora la bioconcentración del fueloil, con número CAS 64741624. La aplicación, mediante el uso del método basado en regresión, aporta un Log BCF de 3,712, por lo que la bioconcentración para esta sustancia se puntúa con valor 2. A continuación se valora la bioconcentración de algunas sustancias a modo de ejemplo:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **CAS** | **Log BCF** | **Puntuación** |
| Fueloil | 64741624 | 3,712 | 2 |
| Gasolina | 86290815 | 2,436 | 2 |
| Cloro | 7782505 | 0,5 | 0 |
| Benceno | 1330207 | 1,752 | 1 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la bioconcentración de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.
	* + 1. Adsorción.

La adsorción de la sustancia se valora mediante el valor de Log KOW donde KOW es el coeficiente de reparto octanol/agua. Al igual que en el caso anterior, se calculará el mismo a través del programa informático EPI Suite. Se valorará esta característica mediante el siguiente cuadro de puntuaciones:

|  |  |
| --- | --- |
| **Adsorción (log KOW) KOW - Coeficiente de reparto octanol - agua** | **Puntuación** |
| Log KOW > 2 | 2 |
| 1 < log KOW ≤ 2 | 1 |
| log KOW ≤ 1 | 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Adsorción de las sustancias.

**EJEMPLO 7:** Continuando con el caso anterior, se muestra un ejemplo para valorar la adsorción de una sustancia a partir de la herramienta EPI Suite. Se valora la adsorción del fueloil, con número CAS 64741624. La aplicación, desde la base de datos experimental, aporta un Log KOW de 6,13, por lo que la adsorción para esta sustancia se puntúa con valor 2. A continuación se valora la adsorción de algunas sustancias a modo de ejemplo:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **CAS** | **Log BCF** | **Puntuación** |
| Fueloil | 64741624 | 6,13 | 2 |
| Gasolina | 86290815 | 4,20 | 2 |
| Cloro | 7782505 | 0,85 | 0 |
| Benceno | 1330207 | 3,16 | 2 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la adsorción de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.
	* + 1. Biodegradación.

La biodegradación de la sustancia se valora mediante el valor de BD calculado con el programa informático EPI Suite. Se valorará esta característica mediante el siguiente cuadro de puntuaciones:

|  |  |
| --- | --- |
| **Biodegradación (BD)** | **Puntuación** |
| BD < 2 | (meses o periodos de tiempo mayores) | 2 |
| 2 ≤ BD < 2,5  | (meses/semanas) | 1,5 |
| 2,5 ≤ BD < 3,5  | (semanas/días) | 1 |
| 3,5 ≤ BD < 4,5  | (días/horas) | 0,5 |
| BD ≥ 4,5  | (horas) | 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Biodegradación de las sustancias.

**EJEMPLO 8:** Continuando con el caso anterior, se muestra un ejemplo para valorar la biodegradación de una sustancia a partir de la herramienta EPI Suite. Se valora la biodegradación del fueloil, con número CAS 64741624. La aplicación, mediante el uso del modelo de evaluación primario, aporta un coeficiente de 2,7815, por lo que la bioconcentración para esta sustancia se puntúa con valor 1. A continuación se valora la biodegradación de algunas sustancias a modo de ejemplo:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **CAS** | **BD** | **Puntuación** |
| Fueloil | 64741624 | 2,7815 | 1 |
| Gasolina | 86290815 | 3,952 | 0,5 |
| Cloro | 7782505 | 3,7454 | 0,5 |
| Benceno | 1330207 | 3,5575 | 0,5 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la biodegradación de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.
	* + 1. Sinergia.

Generalizando, cuando la metodología evalúa las sustancias implicadas en un determinado escenario accidental, existen 3 posibilidades:

* 1. La materia implicada es una sustancia única.
	2. La materia implicada es una mezcla de sustancias que a priori no representa efectos sinérgicos.
	3. La materia implicada es una mezcla de sustancias que a priori representa efectos sinérgicos.

En el primero de los casos, se considera una sustancia pura, por lo que la sinergia se puntuará con cero. En otro caso, deberá calcularse para cada sustancia el conjunto puntuaciones descrito en los apartados anteriores, siendo adicionado finalmente para cada una de las mismas el correspondiente valor de puntuación atendiendo a la sinergia. Una vez calculadas la peligrosidad individual total para cada una de las sustancias implicadas, se aplicará el principio de precaución y se escogerá la sustancia con mayor puntuación individual total asociada para continuar con el Análisis del Riesgo Ambiental.

|  |  |
| --- | --- |
| **Sinergia (BD)** | **Puntuación** |
| Mezcla de sustancias sinérgicas | 3 |
| Mezcla de sustancias no sinérgicas | 2 |
| Sustancia pura | 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración de la sinergia de las sustancias.
	* + 1. Estandarización de la peligrosidad de la sustancia.

El valor de peligrosidad de la sustancia obtenido se deberá dividir finalmente por 1,2 y de esta forma se obtendrá la puntuación normalizada.

* + 1. Cantidad de sustancia implicada.

Resulta importante considerar la cantidad de sustancia implicada en un accidente. En ocasiones es complicado determinar con exactitud su cantidad. Es por ello que se atenderá a la cantidad almacenada en comparación con las indicaciones de la DIRECTIVA 2012/18/UE presentada con anterioridad, traspuesta al ordenamiento jurídico de los países miembros de la Unión Europea posteriormente (en España, Real Decreto 840/2015). Será necesario atender a la Columna 3 de las partes 1 y 2 del Anexo I de la citada DIRECTIVA. El ejemplo 1 muestra el modo de interpretar la DIRECTIVA en relación a las cantidades de sustancia almacenada en una industria. En función de estas cantidades se puntuará del modo indicado a continuación:

|  |  |
| --- | --- |
| **Porcentaje de cantidad reflejada (Columna 3, partes 1 y 2, Anexo 1 de la DIRECTIVA 2012/18/UE)**  | **Puntuación** |
| ≥ 100 % | 10 |
| 80 - 99 % | 8 |
| 50 - 80 % | 7 |
| 20 - 50 % | 5 |
| 5 - 20 % | 3 |
| 1 - 5 % | 2 |
| < 1 % | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración de la cantidad de sustancia.

Para sustancias peligrosas no nombradas en la parte 2 y no asimilable a las categorizadas en la parte 1, se aplica la siguiente tabla para la valoración:

|  |  |
| --- | --- |
| **Cantidad de sustancias no recogidas en la DIRECTIVA 2012/18/UE [Tm]** | **Puntuación** |
| > 500 | 10 |
| 250 - 500 | 8 |
| 100 - 250 | 7 |
| 50 - 100 | 5 |
| 5 - 50 | 3 |
| 0.5 - 5 | 2 |
| < 0,5 | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración de la cantidad de sustancia.

**EJEMPLO 9:** Continuando con el ejemplo anterior, se muestra como valorar la cantidad de sustancia implicada. Se valora la cantidad implicada para el fueloil. Si se atiende a la parte 2 del Anexo I de la DIRECTIVA 2012/18/UE, en la que aparecen las sustancias directamente nombradas, se observa que para la sustancia "fuelóleos pesados", la columna 3 aporta un valor de 25.000 toneladas. En el caso de una industria que, a modo de ejemplo, almacena 50.000 toneladas, se observa que esta cantidad supera a la indicada en la DIRECTIVA por lo que su puntuación se valoraría con 10 al superar el 100% del umbral establecido. A continuación, se valora la cantidad implicada para algunas sustancias a modo de ejemplo:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Sustancia** | **DIRECTIVA 2012/18/UE** | **Columna 3** | **Cantidad almacenada (ejemplo)** | **Comparativa** | **Puntuación** |
| Fueloil | Fuelóleos pesados | 25.000 | 50.000 | ≥ 100 % | 10 |
| Gasolina | Gasolinas y naftas | 25.000 | 15.000 | 60% | 7 |
| Cloro | Cloro | 25 | 7 | 28% | 5 |
| Xileno | No incluida | - | 150 | 100 - 250 | 7 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Puntuación para la cantidad implicada de algunas sustancias peligrosas para el medio ambiente.
	* 1. Área afectada por el accidente

La importancia del área afectada por el accidente dependerá en gran medida de la calidad/vulnerabilidad del hábitat. En esta línea, la Reglamentación propone una serie de criterios relacionados con la extensión del área afectada. La tabla siguiente propone una serie de criterios de análisis en esta línea. Nótese, que con el objeto de estimar las dimensiones del área afectada puede ser preciso el uso de modelos matemáticos de cálculo o bien sus implementaciones en programas informáticos como por ejemplo ALOHA, PHAST, EFFECTS, SUPERCHEMS o MIKE21.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Medio terrestre y acuíferos (Hectáreas)** | **Medio acuático (ríos, canales) (Km)** | **Medio acuático (lagos, zonas marítimo costeras,...) (Hectáreas)** | **Puntuación** |
| ≥ 10 | ≥ 10 | ≥ 2 | 10 |
| 6 - 10 | 6 - 10 | 1.5 - 2 | 9 |
| 4 - 6 | 4 - 6 | 1.3 - 1.5 | 7 |
| 2.5 - 4 | 2.5 - 4 | 1.2 - 1.3 | 5 |
| 1 - 2.5 | 1 - 2.5 | 1 - 1.2 | 3 |
| < 1 | < 1 | < 1 | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración del área afectada.
	* 1. Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico.

Para la caracterización de este factor se clasificará el tipo de entorno afectado y la categoría de protección de especies, atendiendo al posible impacto ecológico causado por un accidente, y se valorará el impacto socioeconómico a partir de las actividades económicas, la alteración de recursos naturales e infraestructuras y la población afectada, así como la existencia de población sensible en el área.

* + - 1. Tipo de entorno afectado.

Una vez conocida el área afectada, se deberá determinar el tipo de usos del suelo y la existencia de figuras de protección de espacios naturales en dicha área. Esta información es específica de cada región, por lo que deberá ser identificada, por ejemplo, a través de webs de las administraciones públicas con competencia, a modo de ejemplo, en España, es el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. A continuación, se muestra una manera de baremar la puntuación para este factor.

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo de entorno afectado** | **Puntuación** |
| Parque NacionalHumedalesLugar de Interés comunitario (LIC) - Zona de especial protección de aves (ZEPA) | 10 |
| Reserva naturalReserva natural especial, reserva natural dirigida, reserva natural parcial, reservanatural concertada, reserva integral, reserva natural integral, reserva biológica nacional | 9 |
| Reserva de la biosfera - Parque natural - Parque regional, parque rural | 8 |
| Monumento natural, monumento natural de interés nacional, enclave natural, árbol singular | 7 |
| Paisaje protegidoParaje natural, paraje pintoresco, paraje natural de interés nacionalSitio de interés científico, sitio natural de interés nacionalBiotopo protegido | 6 |
| Refugio de fauna, microrreserva, área natural recreativa, parque periurbano, parque periurbanode conservación y ocio, régimen de protección general, corredor ecológico y de biodiversidadOtras figuras de protección no contempladas anteriormente | 5 |
| Tierras cultivadas o viveros | 4 |
| Jardines o parques | 3 |
| Suburbano: baja densidad de edificiosSuperficies acuáticas altamente artificiales | 2 |
| Urbano: edificios en ciudades o pueblosIndustrial: emplazamientos industriales e industrias extractivasRedes de transporte y otras áreas asfaltadasDepósitos de basura y vertederos | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración del tipo de entorno afectado.
	* + 1. Protección de especies.

En los casos en los que el área de influencia de un escenario accidental coincida con el área de distribución de una especie animal o vegetal contemplada bajo alguna figura de protección a nivel nacional o equivalente a nivel autonómico, se puntuará aplicando la siguiente tabla.

|  |  |
| --- | --- |
| **Valoración de protección** | **Puntuación** |
| En peligro de extinción | 5 |
| Sensibles a la alteración de su hábitat | 4 |
| Vulnerables | 3 |
| De interés especial | 2 |
| Sin categoría de protección | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración del área afectada.

En los casos en los que se dé más de una categoría de protección, se deberá escoger la que otorgue un mayor incremento a la puntuación obtenida.

* + - 1. Impacto de actividades económicas.

Mediante este criterio se valorará la posible afección a actividades económicas que se realizan en el área afectada por el posible accidente. La puntuación, en este caso, en lugar de gradual es aditiva. De este modo, toda actividad enumerada a continuación adicionará la puntuación al cómputo total sobre el criterio "Impacto en actividades económicas".

|  |  |
| --- | --- |
| **Actividades económicas** | **Puntuación** |
| Agricultura, ganadería, caza y/o pesca | + 1.5 |
| Industrias y comercios agroalimentarios | + 1.5 |
| Otras industrias y comercios | + 1 |
| No existen industrias ni comercios | 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración del impacto en actividades económicas.
	* + 1. Alteración de recursos naturales e infraestructuras.

Otro aspecto a evaluar en relación a la vulnerabilidad socioeconómica es la alteración de recursos naturales e infraestructuras. La existencia de alguno de los recursos o infraestructuras enumeradas adicionará la puntuación correspondiente al cómputo total del criterio.

|  |  |
| --- | --- |
| **Recursos naturales e infraestructura** | **Puntuación** |
| Suministros de agua | + 0.5 |
| Redes de transporte y comunicaciones | + 0.5 |
| Suministro y transporte de energía | + 0.5 |
| Infraestructuras de telecomunicaciones | + 0.5 |
| Sistemas de almacenamiento y recogida de residuos | + 0.5 |
| Vivienda(s) situada(s) fuera del establecimiento dañada(s) e inutilizable(s) a causa del accidente | + 0.5 |
| No existen recursos naturales ni infraestructuras | + 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración de la alteración de recursos naturales e infraestructuras.
	* + 1. Población afectada y existencia de población sensible.

Otro aspecto a evaluar en relación a la vulnerabilidad socioeconómica es la población afectada y existencia de población sensible. Se pretende valorar la masa de población afectada ante un accidente medioambiental, así como la existencia de población sensible ante la posible contaminación. Se considera población afectada a aquellas personas que tengan que ser evacuadas o confinadas por más de dos horas o que requieran asistencia médica sin hospitalización.

|  |  |
| --- | --- |
| **Población afectada (personas)** | **Puntuación** |
| >1 muerte ó > 100 personas afectadas | 4 |
| >1 hospitalización superior a 24 h ó 25 – 100 personas afectadas | 3 |
| 5 – 25 personas afectadas | 2 |
| < 5 personas afectadas | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración de la población afectada.

En el caso de la existencia de población sensible, dicho criterio tiene una puntuación aditiva a la valoración de la población afectada calculada del modo indicado anteriormente.

|  |  |
| --- | --- |
| **Población afectada (personas)** | **Puntuación** |
| Hospitales | + 1 |
| Colegios y guarderías | + 1 |
| Asilos y centros de la tercera edad | + 1 |
| Polideportivos | + 1 |
| No existe población sensible | 0 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración del impacto en población sensible.
	* 1. Determinación del Índice de Consecuencias Ambientales.

Tras determinar todos los parámetros de influencia, se debe realizar una normalización para que cada uno de los factores tenga el mismo peso específico. De esta forma la puntuación final del Índice de Consecuencias Ambientales tiene una puntuación en el rango de 1.4 a 20 puntos. A continuación, se muestra una tabla que resume el cálculo que se efectúa.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Subfactor** | **Parámetros** | **Puntos** | **Factor****Estándar** | **Puntuación****Pre-normal** | **Factor****Normal** | **Puntos normal** | **Puntos final** |
| Fuentes de Peligro | Peligro | Toxicidad | 1 - 10 | 1/1.2 | 1.7 - 20 | 1/3 | 0.6 - 6.7 | 1.4 - 20 |
| Volatilidad | 1 - 5 |
| Bioconcentración | 0 - 2 |
| Adsorción | 0 - 2 |
| Biodegradación | 0 - 2 |
| Sinergia | 0 - 3 |
| Cantidad | Cantidad | - | - | 1 - 10 | 1/3 | 0.3 - 3.3 |
| Receptores | Área | Área | - | - | 1 - 10 | 1/4 | 0.25 - 2.5 |
| Vulnerabilidad | Entorno afectado | 1 - 10 | - | 1 - 30 | 1/4 | 0.25 - 7.5 |
| Protecciónespecies | 1 - 5 |
| Impactoactividades | 0 - 4 |
| Alteraciones | 0 - 3 |
| Poblaciónafectada | 1 - 4 |
| Población sensible | 0 - 4 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Valoración del Índice de Consecuencias Ambientales.

Con el objeto de aplicar el conjunto de la metodología propuesta para la valoración del Índice de Consecuencias Ambientales, a continuación, se plantea la resolución de un caso de ejemplo.

**EJEMPLO 10:** Una industria almacena Gasoil en un tanque de capacidad 18.000 Toneladas. Valore el Índice de Consecuencias Ambientales conociendo que:

* El umbral establecido por la DIRECTIVA 2012/18/UE para su aplicación se sitúa en 2.500 toneladas para la columna 2 y 25.000 toneladas para la columna 3.
* La ficha de seguridad del Gasoil indica en relación a su toxicidad la frase R R51/53.
* El tanque se encuentra instalado en el interior de un cubeto de retención con capacidad suficiente para retener el gasoil en caso de fuga, con una superficie disponible de 2.500 m2 y muros de 5 metros de altura.

La solución a la cuestión que se plantea comienza por destacar que la cantidad almacenada implica la aplicación de la DIRECTIVA 2012/18/UE y por tanto la necesidad de realizar el Análisis del Riesgo Medioambiental. Es necesario determinar en primer lugar la peligrosidad de la sustancia. El Gasoil tiene un número CAS de 68334305, pudiendo extraer a partir de una ficha de seguridad (FDS) de la sustancia y desde la aplicación EPI Suite los diferentes parámetros que caracterizan la valoración de la sustancia.

Por tanto:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Indicación** | **Fuente** | **Puntuación** |
| Toxicidad | R51/53 | FDS | 8 |
| Volatilidad | log 9.2=0.96 | EPI Suite | 3 |
| Bioconcentración | Log BCF = 3.43 | EPI Suite | 2 |
| Adsorción | log Kow = 7.20 | EPI Suite | 2 |
| Biodegradación | 4.099 | EPI Suite | 0.5 |
| Sinergia | Sustancia pura (se considera de este modo para facilitar el entendimiento del ejemplo) | - | 0 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Valoración de la peligrosidad del gasoil.

En relación a la cantidad de sustancia implicada:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Columna 3, parte 2, DIRECTIVA 2012/18/UE** | **Cantidad almacenada** | **Porcentaje** | **Puntuación** |
| 25.000 Toneladas | 18.000 Toneladas | 72% | 7 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Valoración de la cantidad de gasoil.

En relación al área afectada por el incidente:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parámetro** | **Afección** | **Valoración** | **Puntuación** |
| Área afectada | Medio terrestre: 2.500 m2 | < 1 hectárea | 1 |
| Tipo de entorno afectado | Industria Petroquímica | Industrial: Emplazamientos industriales | 1 |
| Protección de especies | Suelo industrial | Sin categoría de protección | 1 |
| Impacto de actividades económicas | Sustancia retenida en cubeto | No existen industrias ni comercios | 0 |
| Alteración de recursos | Sustancia retenida en cubeto | No existen | +0 |
| Población afectada | Afecta al personal de planta | < 5 personas afectadas | 1 |
| Población afectada | Sustancia retenida en cubeto | No existe población sensible | +0 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Valoración para el área afectada.

El Índice de Consecuencias Ambientales será en este caso:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Factor** | **Subfactor** | **Parámetros** | **Puntos** | **Factor****Estándar** | **Puntuación****Pre-normal** | **Factor****Normal** | **Puntos normal** | **Puntos final** |
| Fuentes de Peligro | Peligro | Toxicidad | 8 | 1/1.2 | 12.92 | 1/3 | 4.3 | 7.63 |
| Volatilidad | 3 |
| Bioconcentración | 2 |
| Adsorción | 2 |
| Biodegradación | 0.5 |
| Sinergia | 0 |
| Cantidad | Cantidad | 7 | - | 7 | 1/3 | 2.33 |
| Receptores | Área | Área | 1 | - | 1 | 1/4 | 0.25 |
| Vulnerabilidad | Entorno afectado | 1 | - | 3 | 1/4 | 0.75 |
| Protecciónespecies | 1 |
| Impactoactividades | 0 |
| Alteraciones | +0 |
| Poblaciónafectada | 1 |
| Población sensible | +0 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Valoración del Índice de Consecuencias Ambientales.
	1. Cálculo de Probabilidades.

Una vez obtenido el **Índice de Consecuencias Ambientales**, es necesario conocer la probabilidad de que ocurra un determinado accidente. Para ello es necesario recurrir a los datos que aporta un análisis cuantitativo del riesgo. Idealmente, esta información se desprende del histórico de accidentes ocurrido en la empresa. No obstante, en la mayoría de los casos esta información no estará disponible. Esto puede deberse a que la industria puede estar en fase de proyecto, o a que no lleva el suficiente tiempo en operación. En estos casos se debe recurrir a otro tipo de técnicas que permita establecer la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de accidentes en industrias similares. Para ello es posible efectuar un análisis histórico de los accidentes ocurridos en industrias similares, aunque este método será menos exacto debido a las peculiaridades existentes en cada industria.

El Análisis Histórico de Accidentes es un método cualitativo que permite tipificar accidentes en industrias similares. Consiste en la recopilación y estudio de accidentes registrados en el pasado relacionados con industrias y productos de similar naturaleza a los relativos al análisis que se ha de elaborar. Para ello se ha de acceder a la información por medio de bibliografía especializada o, bancos de datos informatizados o registro de incidencias en otras industrias similares entre otros.

Al realizar un Análisis Histórico de accidentes, se ha de considerar:

* Definir la tipología de accidentes a estudiar (similitud en cuanto a productos e instalaciones).
* Identificación de accidentes (Lugar, fecha, producto implicado, instalación y equipamiento implicado, consecuencia (incendio, explosión,...),...).
* Identificación de las causas (fallo humano, fallo de equipo, fallo de diseño,...).
* Identificación del alcance (pérdida de vidas, heridos, pérdidas económicas, pérdidas medioambientales,...).
* Descripción y valoración de las medidas aplicadas.

Existen bancos de datos para el suministro de esta información, en soporte informático (MHIDAS, FACTS, SONATA, MARS, OSIRIS, HARIS,...), así como publicaciones (LEE´S LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES [2],...). Las hipótesis accidentales en estos casos se basan en incidentes reales. No obstante, en ocasiones la información suministrada no es completa. A modo de ejemplo, se extrae a continuación un conjunto de accidentes.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Localización** | **Instalación** | **Sustancia** | **Consecuencia** | **Muertos/heridos** | **Coste ($)** |
| 1917, Halifax (Canadá) | Buque | Municiones | Explosión | 1936/8000 | - |
| 1968, Pernis (Holanda) | Depósito | Hidrocarburo | Explosión | 2/85 | 97.7 mill |
| 1976, Seveso (Italia) | Industria | Mezcla de químicos | Fuga | 0/- | - |
| 1978, San Carlos (España) | Cisterna | Propileno | Incendio | 216/200 | - |
| 1984, Bhopal (India) | Tanque | Isocianato de Metilo | Fuga | 4000/- | - |

*(Fuente: LEE´S LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES)*

1. Relación de accidentes graves ocurridos a lo largo de la historia.

Esta técnica se ha de complementar con otras como es el Árbol de Eventos. Por medio de la misma se desarrolla un diagrama gráfico secuencial a partir de sucesos "iniciadores" o desencadenantes indeseados, para averiguar todo lo que puede acontecer. Esta metodología precisa del análisis previo de la propia industria, y de la aplicación de alguna otra técnica, como puede ser el Análisis Histórico de Accidentes, antes indicado con el objeto de identificar aquellos sucesos "iniciadores" cuyas evoluciones se estudiarán posteriormente. El árbol de sucesos finalmente elaborado tendrá una estructura similar a la que se muestra a continuación.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Suceso iniciador | Primer factorcondicionante | Segundo factorcondicionante | ... | Consecuencias |

E1

E2

E3

E4

E5

E

F

E

F

E

F

E

F

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Evolución de un árbol de sucesos.

El árbol de sucesos representa una técnica inductiva que consiste, en primer lugar, en identificar los factores que condicionan la evolu­ción secuencial de un posible accidente, y posteriormente identificar la ocurrencia (éxito/fallo) de cada uno de ellos. Se colocan cada uno de los N factores identificados como “cabezales” o "factores condicionantes" y partiendo del suceso "iniciador" se plantea sistemáticamente, para cada uno de ellos, dos bifurca­ciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del "factor condicionante" y en la parte inferior el fallo o no ocurrencia del "factor condicionante".

La disposición horizontal de los “cabezales” o "factores condicionantes" se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente, aunque no siempre se puede aplicar este criterio. Mediante el árbol de sucesos mostrado se pueden entender estos conceptos. En este árbol de sucesos E significa éxito y F fallo.

Cabe destacar que el contenido de un árbol de eventos por una parte está ligado a las condiciones propias de las situaciones e instalaciones de análisis. Por otra, está estrechamente ligado a la experiencia, perfil y consideraciones propias del experto que realiza el análisis. Situaciones e instalaciones similares pueden presentar árboles de eventos diferentes en función del nivel de detalle y de las consideraciones propias del especialista que realiza el análisis. Es por ello que diferentes "sucesos iniciadores" pueden ser considerados, a la vez que diferentes "factores condicionantes" y "escenarios de riesgo" o "consecuencias" que se materializan.

Existen publicaciones científicas y guías técnicas que suministran criterios para escoger "sucesos iniciadores" tipo y frecuencias esperadas de ocurrencia de los mismos, así como "factores condicionantes" y sus probabilidades que permiten definir "escenarios de riesgo" o "consecuencias" y determinar su frecuencia. A continuación se indican algunas de las mismas:

* **Guidelines for quantitative risk assessment "Purple book" CPR18E.** Esta publicación aporta información de detalle sobre el desarrollo de un análisis cuantitativo del riesgo en el ámbito industrial, aportando "sucesos iniciadores" tipificados y frecuencia de aparición de los mismos, así como ayuda para el proceso de la toma de decisiones que permite establecer las probabilidades de los "factores condicionantes".
* **Reference Manual Bevi Risk Assessments**. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM). Como en el caso anterior, aporta información detallada para el desarrollo de un análisis cuantitativo del riesgo en el ámbito industrial, aportando "sucesos iniciadores" tipificados y frecuencia de aparición de los mismos, así como ayuda para el proceso de la toma de decisiones que permite establecer las probabilidades de los "factores condicionantes".
* **OREDA**. Esta publicación presenta datos sobre fiabilidad de equipamiento "*offshore*". La intención de esta publicación es aportar información tanto cualitativa como cuantitativa como una base para el análisis RAMS (reliability, availability, maintainability and safety).
* **Lee´s Loss Prevention in the Process Industries**, by Sam Mannan. Esta publicación aporta gran cantidad de información en diferentes ámbitos de la seguridad industrial. En particular aporta información sobre tasas de fallo de equipos y sobre la probabilidad de que se materialicen "factores condicionantes".
* **Military Handbook. Reliability Prediction of Electronic Equipment.** Desarrollado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de árboles de eventos inspirados a partir del "RIVM" [7]. Se han escogido para los mismos algunos "sucesos iniciadores" tipificados, así como las frecuencias de ocurrencia de los mismos. Se observa como la ocurrencia o no de determinados "factores condicionantes" desencadenan en diferentes consecuencias.

**EJEMPLO 11:** A continuación, se desarrollará un árbol de eventos, por medio del cual se analizará la evolución de la pérdida de contención de un tanque que almacena un líquido inflamable como es el Gasoil. Se considera la fuga de esta sustancia desde el tanque de almacenamiento que la contiene. Las características físicas de esta sustancia (que pueden ser consultadas a través de una ficha de seguridad) presentan un punto de inflamación superior a los 50ºC. El punto de inflamación es la temperatura a la cual una sustancia desprende vapores en cantidad suficiente para formar la mezcla con el aire precisa para entrar en combustión a partir de un punto de ignición. Es por esta razón que a temperatura ambiente, resulta difícil que esta sustancia desprenda vapores suficientes como para que llegue a arder. A continuación, se muestra un árbol de eventos factible para la situación que se ha descrito.



*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Árbol de sucesos, fuga de líquido inflamable de baja volatibilidad (cualitativo).

Como se observa, en este caso se ha considerado como "suceso iniciador" la rotura de un tanque de almacenamiento. A partir de la citada rotura, el gasoil en estado líquido fuga generando un charco inflamable. Como "factor condicionante" se ha considerado la posible ignición de los vapores que pudieran desprenderse del charco inflamable. Como se comentó anteriormente, esta situación es poco probable debido a las características físicas de la sustancia, no obstante, en caso producirse la ignición, como escenario de riesgo se obtendría un incendio de charco (POOL-FIRE). En caso de no ignición, se obtendría un charco inflamable contenido o bien un suceso contaminante si el citado charco no quedara contenido y alcanzara por ejemplo el mar en el caso de una industria ubicada en una zona portuaria.

Con el objeto de cuantificar los diferentes "escenarios de riesgo", se adopta a continuación la frecuencia esperada de ocurrencia del suceso iniciador "rotura del continente". Para ello se realiza una consulta a la publicación "*Reference Manual Bevi Risk Assessments. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)*" [7]. El Gasoil se almacena en tanques a presión atmosférica. La citada publicación aporta una serie de "sucesos iniciadores" posibles en función del tipo de tanque (contención simple, doble contención, etc...) y las frecuencias de ocurrencia de los mismos. Para el caso de ejemplo se considerará un tanque de contención simple. Para esta clase de tanque, la publicación define entre los "sucesos iniciadores" a considerar, la "fuga continua desde un orificio de diámetro efectivo 10 milímetros", para el cual indica una frecuencia anual de ocurrencia de 1 x 10-4, o lo que es lo mismo, de 1 vez cada 10.000 años.

Con el objeto de determinar la probabilidad de ignición de una sustancia como el Gasoil, la misma publicación indica que para sustancias de punto de inflamación de entre 21ºC y 55ºC, dicha probabilidad de ignición se establece en 0.01. Esto implica que la probabilidad de no ignición se situaría en 1 - 0.01 = 0.99. Con esta información es posible reconstruir el árbol de eventos anteriormente desarrollado.



*(Fuente: RIVM)*

1. Árbol de sucesos, fuga de líquido inflamable de baja volatibilidad (cuantitativo).

Es posible por tanto determinar la frecuencia esperada de ocurrencia para las diferentes consecuencias o "escenarios de riesgo".

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Suceso iniciador [años-1]** | **Ignición** | **Consecuencia** | **Consecuencia [años-1]** |
| 1 x 10-4 | 0,01 | POOL-FIRE | 1 x 10-4 x 0,01 = 1 x 10-6 |
| 1 x 10-4 | 0,99 | Sin consecuencias | 1 x 10-4 x 0,99 = 9,9 x 10-5 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Cálculo de la frecuencia esperada de consecuencias.

De este modo ha quedado caracterizado el árbol de eventos tanto en términos cualitativos como cuantitativos.

**EJEMPLO 12:** A continuación, se desarrollará un árbol de eventos, por medio del cual se analizará la evolución de la pérdida de contención de un tanque que almacena un gas tóxico como es el Cloro. A continuación, se muestra un árbol de eventos factible para la situación que se ha descrito.



*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Árbol de sucesos, fuga de gas tóxico (cualitativo).

Como se observa, en este caso se ha considerado como "suceso iniciador" la rotura del tanque. A partir de la citada rotura, el gas fuga generando una nube tóxica.

Con el objeto de cuantificar el "escenarios de riesgo", se adopta a continuación la frecuencia esperada de ocurrencia del suceso iniciador "rotura del continente". Para ello se realiza una consulta a la publicación "*Reference Manual Bevi Risk Assessments. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)*" [7]. Se considera la fuga del gas desde un contenedor en el que se encuentra almacenado a presión superior a la atmosférica. La citada publicación aporta una serie de "sucesos iniciadores" posibles para tanques presurizados y las frecuencias de ocurrencia de los mismos. Para esta clase de tanque, la publicación define entre los "sucesos iniciadores" a considerar, la "fuga por rotura catastrófica", para el cual indica una frecuencia anual de ocurrencia de 5 x 10-7, o lo que es lo mismo, de 1 vez cada 2.000.000 de años. Con esta información es posible reconstruir el árbol de eventos anteriormente desarrollado.



*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Árbol de sucesos, fuga de gas tóxico (cuantitativo).

Es posible por tanto determinar la frecuencia esperada de ocurrencia.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Suceso iniciador [años-1]** | **Consecuencia** | **Consecuencia [años-1]** |
| 5 x 10-7 | Nube tóxica | 5 x 10-7 |

*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Cálculo de la frecuencia esperada de consecuencias.

Una vez obtenida la probabilidad de ocurrencia de un accidente, este se puntúa en función de los siguientes criterios.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Probabilidad ACR** | **Criterio UNE 150008 EX** | **Puntuación** |
| X ≥ 1x10-2 | Entre una vez al año y una vez cada 5 años | 5 |
| 1x10-4 ≤ X < 1x10-2 | Entre una vez cada 5 años y una vez cada 25 años | 4 |
| 1x10-6 ≤ X < 1x10-4 | Entre una vez cada 25 años y una vez cada 50 años | 3 |
| 1x10-8 ≤ X < 1x10-6 | Entre una vez cada 50 años y una vez cada 100 años | 2 |
| X < 1x10-8 | Entre una vez cada 100 años y una vez cada 500 años | 1 |

*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1.
2. Valoración de la probabilidad de ocurrencia de un accidente.

* 1. Determinación del Riesgo Ambiental.

A continuación se evalúa la tolerabilidad del riesgo en función de los factores que lo componen: Índice de Consecuencias Ambientales y Frecuencia o Probabilidad. La siguiente figura ilustra las distintas regiones de riesgo ambiental. Estas regiones se diferencian del modo siguiente:

* Región de riesgo elevado: En esta área deben ser implantadas medidas de reducción del riesgo, independientemente del coste asociado.
* Región ALARP: Riesgo tolerable pero que debe ser reducido al máximo.
* Región de riesgo moderado: El nivel de riesgo de esta área es insignificante.



*(Fuente: Publicación 107, MAPFRE Seguridad, 2007)*

1. Evaluación del riesgo ambiental.

En función de la región en la que se encuentra la situación analizada se tomarán, si es necesario, decisiones que permitan la mejora de la gestión del riesgo.

**EJEMPLO 13:** Una industria almacena Gasoil en un tanque de capacidad 18.000 Toneladas. Valore el Índice de Consecuencias Ambientales conociendo que:

* El umbral establecido por la DIRECTIVA 2012/18/UE para su aplicación se sitúa en 2.500 toneladas.
* La ficha de seguridad del Gasoil indica en relación a su toxicidad la frase R R51/53.
* El tanque se encuentra instalado en el interior de un cubeto de retención con capacidad suficiente para retener el gasoil en caso de fuga, con una superficie disponible de 2.500 m2 y muros de 5 metros de altura.

El **Índice de Consecuencias Ambientales** para esta situación fue resuelto anteriormente, mediante el caso de ejemplo 10. Este **se estableció en 7.63**.

Por otra parte, mediante el ejemplo 11, se estimó **la probabilidad de ocurrencia** de una fuga para esta sustancia desde el tanque que la contiene, considerando como "suceso iniciador", la "fuga continua desde un orificio de diámetro efectivo 10 milímetros", para el cual indica una frecuencia anual de ocurrencia de 1 x 10-4. La probabilidad de que la fuga no tuviera mayores consecuencias **se estimó en 9,9 x 10-5**.

Llevando estas dimensiones a la figura 6 se obtiene:



*(Fuente: Elaboración propia)*

1. Evaluación del riesgo ambiental para el caso de ejemplo.

Como se observa, el Riesgo Ambiental queda dentro de la denominada Región ALARP, en la que el riesgo es tolerable, pero debe ser reducido al máximo posible.

1. Conclusiones.

La acción formativa que se ha desarrollado ha presentado una metodología por medio de la cual se realiza el Análisis del Riesgo Ambiental en industrias en las que se manejan sustancias peligrosas. Esta metodología es extrapolable a otros procesos y operaciones de gestión de mercancías peligrosas, como por ejemplo las operaciones de transporte en cisternas o contenedor por tierra, mar y aire o trasiegos a través de tuberías.

Esta metodología atiende a varios factores, como son las características propias de la sustancia implicada, la cantidad, el entorno afectado y la vulnerabilidad del mismo. Se han presentado criterios y herramientas para la parametrización de estos factores y obtener el **Índice de Consecuencias Ambientales**.

Por otra parte, se han definido criterios y herramientas para estimar la **Probabilidad** o frecuencia de los accidentes a considerar.

Por último, se han definido los criterios que enfrentando **Índice de Consecuencias Ambientales** y **Probabilidad** permiten determinar el **Riesgo Ambiental**.

1. Bibliografía.
2. 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.
3. Lee´s Loss Prevention in the Process Industries, Third Edition, by Sam Mannan. Volumen 3. ISBN-0-7506-7589-3.
4. 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.
5. Guía para la realización del Análisis del Riesgo Medioambiental. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Ministerio del Interior del Gobierno de España.
6. Delgado, J. La medida del riesgo ambiental. MAPFRE Seguridad. Nº 107, tercer trimestre 2007.
7. EPI Suite. US Environmental Protection Agency (EPA).
8. Reference Manual Bevi Risk Assessments. National Institute of Public Health and the Environment (RIVM).