

NUEVA METODOLOGÍA PARA EVALUAR CÓMO AFECTAN  
LAS ACTIVIDADES DE LA EMPRESA AL ENTORNO NATURAL

# LA MEDIDA DEL RIESGO AMBIENTAL

En este artículo se desarrolla una nueva metodología para la evaluación de riesgos ambientales, centrada en el uso de indicadores medioambientales, que permite medir con objetividad la gestión de una empresa y su progresión en la reducción de sus riesgos en este campo. A partir del análisis de distintos parámetros, este procedimiento determina los dos factores que intervienen en el riesgo ambiental –consecuencias y probabilidades–, que son obtenidos mediante tablas que valoran su importancia en cada escenario accidental.



Por **JUANA MARÍA DELGADO SABORIT**, DOCTORA EN INGENIERÍA QUÍMICA. DIVISION OF ENVIRONMENTAL HEALTH AND RISK MANAGEMENT, UNIVERSITY OF BIRMINGHAM (UK), RESEARCH FELLOW.

## 1. INTRODUCCIÓN

La determinación de los riesgos medioambientales y las responsabilidades derivadas de ellos son un asunto de creciente interés para cualquier tipo de organización.

Diversos organismos (entidades financieras y de seguros, las administraciones, etc.) vienen utilizando prácticas no normalizadas para identificar, analizar y evaluar los riesgos medioambientales de las organizaciones, así como las responsabilidades que pudieran derivarse. Con ello buscan tener un mejor conocimien-

to a la hora de tomar la decisión de conceder créditos, fijar condiciones de seguros o llevar a cabo operaciones de inversión, participación o compraventa.

En el ámbito europeo, el riesgo medioambiental está considerado dentro del Libro Blanco sobre Responsabilidad Ambiental. Este concepto tiene también una gran importancia en la Directiva IPPC [1] al tratarse de uno de los elementos condicionantes a la hora de autorizar nuevas actividades.

El análisis de riesgo es una disciplina que se viene practicando desde hace varias décadas en sectores industriales de alto riesgo, como el petroquímico, el aeronáutico y el nuclear. El análisis de riesgo medioambiental está destinado a identificar, analizar y evaluar los riesgos para el medio ambiente con el fin de diseñar un control efectivo de la gestión del riesgo, enfocado a su reducción. No es, sin embargo, un sistema para la gestión del riesgo en sí mismo, sino, más bien, una herramienta de gestión como lo pueden ser la auditoría medioambiental o el análisis de ciclo de vida [2]. Figura 1 →

El objeto de este trabajo es el desarrollo de una nueva metodología para la evaluación de riesgos ambientales centrada básicamente en el uso de indicadores medioambientales. El empleo de este tipo de indicadores supone la aplicación de una herramienta de valoración y comunicación de la gestión medioambiental,

*Una vez ocurrido el siniestro,  
no toda la cantidad  
involucrada va a ser  
transportada hasta alcanzar  
los receptores vulnerables,  
pero este factor da una idea de  
la magnitud del accidente*



Figura 1 Riesgo ambiental producido por un incendio en una planta química.

una herramienta que permite medir con objetividad la gestión de una empresa y su progresión en la minimización de sus riesgos medioambientales [3].

## 2. ANÁLISIS DE RIESGOS AMBIENTALES

Se define riesgo ambiental como la posibilidad de sufrir un daño, ya sea éste hacia instalaciones, personas o medio ambiente. Así, 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 (Ec. 2.1.).

$$\text{Riesgo} = \text{consecuencias} \times \text{probabilidad}$$

Ec. 2.1.

La metodología desarrollada para evaluar el riesgo ambiental seguirá los siguientes pasos:

1. Identificación de los objetos de riesgo.
2. Identificación de peligros en cada objeto de riesgo.
3. Análisis de consecuencias.
4. Análisis de probabilidades.

### 2.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS OBJETOS DE RIESGO

Éste es el primer paso del proceso y el más crucial, ya que aquellos objetos de riesgo que no hayamos identificado en esta etapa se nos van a escapar en el resto del estudio; por ello es preferible identificar el más mínimo objeto de riesgo, ya que de no existir peligros significativos siempre estaremos a tiempo de eliminarlo del estudio.

Ejemplos de objetos de riesgo son instalaciones industriales, puertos, conducciones de sustancias peligrosas, depósitos de almacenamiento de estas sustancias, etc. [4].

### 2.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS EN CADA OBJETO DE RIESGO

En cada objeto de riesgo que haya en el área debemos realizar una identificación de los peligros que en él puedan existir.

**Esquema 2.1.** Factores y subfactores que influyen en la determinación del Índice de Consecuencias Ambientales.

| FACTOR      | Fuentes de Peligro                | Receptores  |
|-------------|-----------------------------------|---|
| SUBFACTOR 1 | Peligrosidad de la sustancia      | Área afectada por el potencial accidente            |
| SUBFACTOR 2 | Cantidad de dicha(s) sustancia(s) | Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico |

Cada peligro supondrá un tipo de riesgo; así, por ejemplo, la presencia de amoníaco supondrá un riesgo de intoxicación, mientras que la presencia de tanques con gas en su interior significará un riesgo de incendio o de explosión, cada uno de ellos con unas consecuencias distintas sobre los objetos amenazados.

A la hora de identificar estos peligros podemos simplemente realizar un listado de las sustancias peligrosas (indicando sus características, cantidad y tipo de riesgo) y formas de energía que puedan provocar un accidente mayor, o bien podemos seguir técnicas de identificación de riesgos que proceden del campo de la ingeniería, como listas de comprobación, análisis histórico de accidentes, Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP), Análisis de Modalidades de Fallos y sus Efectos (FMEA), Análisis de Árbol de Fallos (FTA), Análisis de Árbol de Sucesos (ETA) o el Análisis «What if», entre otros [4].

## 2.3 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS AMBIENTALES

El siguiente paso es el análisis de las consecuencias de los posibles accidentes provocados por los peligros existentes. Con ese fin se ha desarrollado una metodología para determinar el Índice de Consecuencias Ambientales, centrada en la evaluación de dos factores: las fuentes del peligro y en los receptores. Estos dos factores se subdividen cada uno a su vez en dos subfactores, tal y como se muestra en el Esquema 2.1.

En la valoración de las consecuencias, cada uno de los factores anteriores tie-

ne el mismo peso específico (50%). Cada sub-factor tiene una aportación al Índice de Consecuencias Ambientales, tal y como se describe en los apartados 2.3.1 a 2.3.4.

### 2.3.1 Caracterización del subfactor 'Peligrosidad de las sustancias'

La peligrosidad de las sustancias es función de sus propiedades intrínsecas, que a su vez lo son de la composición molecular y de las condiciones a las que se encuentran almacenadas o manipuladas (presión, temperatura, altura, etc.).

El criterio recomendado a la hora de clasificar las sustancias químicas en función de sus propiedades intrínsecas se apoya en un sistema de filtros a través de los cuales la sustancia es evaluada en términos de peligrosidad y comportamiento medioambiental para obtener una puntuación determinada.

Mediante un conjunto de seis propiedades (toxicidad, volatilidad, bioconcentración, adsorción, biodegradación y sinergia) se procede a la estimación de una

puntuación para el subfactor Peligrosidad aplicando la ecuación 3.2.

$$\text{Peligrosidad (2-21)} = \text{Toxicidad (1-10)} + \text{Volatilidad (1-5)} + \text{Bioconcentración (0-2)} + \text{Adsorción (0-2)} + \text{Biodegradación (0-2)} + \text{Sinergia (0-2)} \text{ Ec 3.2.}$$

Entre paréntesis aparecen las puntuaciones atribuidas a cada propiedad y valoradas según la metodología expuesta en los puntos 2.3.1.1 a 2.3.1.5. Dicha metodología se ha establecido según los criterios establecidos por el *Department of the Environment, Transport and Regions* de Gran Bretaña [5] y a las pautas marcadas por la Dirección General de Protección Civil [6].

#### 2.3.1.1 Valoración de la toxicidad

##### ■ Sustancias clasificadas como peligrosas para el medio ambiente

Las sustancias clasificadas como peligrosas para el medio ambiente reciben directamente una puntuación para su toxicidad, en función del tipo de frases «R» que la sustancia presenta en su etiquetado, de acuerdo a la Directiva 67/548/CEE, tal y como se muestra en la Tabla 2.1.

##### ■ Sustancias no clasificadas como peligrosas para el medio ambiente

Para aquellas sustancias no clasificadas como peligrosas para el medio am- →

**Tabla 2.1.** Valoración de la toxicidad para sustancias peligrosas para el medio ambiente según la Directiva 67/548/CEE

| Frase R - Medio acuático | Frase R - Medio no acuático | Puntuación |
|--------------------------|-----------------------------|------------|
| R50                      | R54 / R57                   | 10         |
| R50 / R53                | R54                         | 10         |
| R51 / R53                | R55 / R57                   | 8          |
| R52 / R53                | R56 / R57                   | 5          |
| R52 y/o R53              | -                           | 5          |
| -                        | R58                         | 4          |
| -                        | R59                         | 4          |

**Tabla 2.2.** Valoración de la toxicidad mediante los valores toxicológicos

| Toxicidad aguda (LC50 ó EC50) (mg/L) | Toxicidad aguda (LD50) (mg/kg) | Puntuación |
|--------------------------------------|--------------------------------|------------|
| < 1                                  | < 5                            | 10         |
| 1 – 6                                | 5 – 50                         | 8          |
| 6 - 30                               | 50 – 500                       | 6          |
| 30 – 200                             | 500 – 5000                     | 4          |
| 200 – 1000                           | 5000 – 15000                   | 2          |
| > 1000                               | > 15000                        | 1          |

**Tabla 2.3.** Valoración de la toxicidad a través de la clasificación de la sustancia según el pictograma de la sustancia

| Toxicidad            | Puntuación |
|----------------------|------------|
| Muy tóxico           | 10         |
| Tóxico               | 6          |
| Nocivo               | 3          |
| Irritante, corrosivo | 1          |

biente, la toxicidad se valorará conforme a los valores toxicológicos LC50 EC50 o LD50 aplicando la Tabla 2.2. Se deberá utilizar la LE, EC o LD50 más baja disponible para peces, Daphnia o algas.

Para los casos en los que no se disponga de los datos toxicológicos requeridos se aplicará la Tabla 2.3.

**2.3.1.2 Valoración de la volatilidad**

La volatilidad de la sustancia se valora mediante el valor de la constante de Henry, ya que la Ley de Henry (coeficiente de reparto aire-agua) viene a cuantificar la tendencia relativa de un compuesto a existir en forma de moléculas de vapor en contraposición a estar disuelto en agua.

Para valorar la volatilidad se calculará el logH, donde H es la constante de Henry medida en (atm m<sup>3</sup>/mol), y se aplicará la Tabla 2.4.

**2.3.1.3 Valoración de la bioconcentración**

La bioconcentración de la sustancia se valora mediante el valor de Log BCF calculado mediante el programa informático EPI Suite [7] y aplicando la Tabla 2.5.

**2.3.1.4 Valoración de la adsorción**

La adsorción de la sustancia se valora mediante el coeficiente de reparto octanol/agua, el cual representa la rela-

ción entre la concentración en la fase de n-octanol y en la fase acuosa en el equilibrio. Es una medida de la hidrofobicidad, o afinidad hacia los lípidos, de una sustancia disuelta en agua. Los compuestos químicos con valores altos de K<sub>ow</sub> tienden a acumularse en las porciones lipídicas de los organismos y a concentrarse en suelos y sedimentos. Por el contrario, los compuestos con bajos K<sub>ow</sub> tienden a distribuirse en el agua o en el aire.

Para valorar la adsorción se calculará el logK<sub>ow</sub>, donde K<sub>ow</sub> representa el coeficiente de reparto octanol/agua, y se aplicará la Tabla 2.6.

**2.3.1.5 Valoración de la biodegradación**

La biodegradación de la sustancia se valora mediante el valor de BD calculado mediante el programa informático EPI Suite [7] y aplicando la Tabla 2.7.

**Tabla 2.4.** Valoración de la volatilidad

| Volatilidad – Log H | Puntuación |
|---------------------|------------|
| Log H < -3          | 5          |
| -3 ≤ Log H < -1     | 4          |
| -1 ≤ Log H < 1      | 3          |
| 1 ≤ Log H < 2       | 2          |
| Log H ≥ 3           | 1          |

**Tabla 2.5.** Valoración de la bioconcentración

| Bioconcentración – Log BCF | Puntuación |
|----------------------------|------------|
| Log BCF > 2                | 2          |
| 1 < Log BCF ≤ 2            | 1          |
| Log BCF ≤ 1                | 0          |

**Tabla 2.6.** Valoración de la adsorción

| Adsorción – Log K <sub>ow</sub> | Puntuación |
|---------------------------------|------------|
| Log K <sub>ow</sub> > 2         | 2          |
| 1 < Log K <sub>ow</sub> ≤ 2     | 1          |
| Log K <sub>ow</sub> ≤ 1         | 0          |



### 2.3.1.6 Valoración de la sinergia

De forma general, cuando la metodología evalúa las sustancias implicadas en un determinado escenario accidental, existen las siguientes posibilidades:

- Implicación de una única sustancia.
- Implicación de más de una sustancia, generando una mezcla que, *a priori*, no presenta efectos sinérgicos.
- Implicación de más de una sustancia, dando lugar a una mezcla que, *a priori*, presenta efectos sinérgicos.

En el supuesto a), cuando la sustancia es pura la valoración de la sinergia es nula, por lo que su puntuación será 0, tal y como muestra la Tabla 2.8. En los supuestos b) y c) se aplicará la metodología descrita en los apartados 2.3.1.1 a 2.3.1.5 hasta obtener la puntuación parcial de peligrosidad para cada una de las sustancias del escenario accidental objeto de análisis. A cada una de las puntuaciones parciales de las diversas sustancias se le añadirá la puntuación asignada por el efecto de sinergia aplicando la Tabla 2.8.

*Se ha desarrollado una metodología para hallar el Índice de Consecuencias Ambientales centrada en dos factores: la evaluación de las fuentes del peligro y en los receptores*

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. A partir de esta fase de la metodología, la sustancia de la mezcla con la mayor puntuación asociada se convertirá en la representante o sustancia indicadora del escenario accidental. →

**Tabla 2.7.** Valoración de la biodegradación

| Biodegradación - BD                         | Puntuación |
|---|------------|
| BD < 2 (meses o periodos de tiempo mayores) | 5          |
| 2 ≤ BD < 2.5 (meses /semanas)               | 4          |
| 2.5 ≤ BD < 3.5 (semanas / días)             | 3          |
| 3.5 ≤ BD < 4.5 (días / horas)               | 2          |
| BD ≥ 4.5 (horas)                            | 1          |

**Tabla 2.8.** Valoración de la sinergia

| Sinergia                           | Puntuación |
|------------------------------------|------------|
| Mezcla de sustancias sinérgicas    | 3          |
| Mezcla de sustancias no sinérgicas | 2          |
| Sustancia pura                     | 0          |

**Tabla 2.9.** Valoración de la cantidad para sustancias recogidas en la parte 1 del anexo 1 del Real Decreto 1254/1999

| Cantidad involucrada en el accidente<br>Porcentaje de cantidad reflejada en la columna 3 de la parte 1 del anexo 1 del RD 1254/1999 | Puntuación |
|---|------------|
| ≥ 100 %   | 10         |
| 80 -99 %  | 8          |
| 50 – 80%  | 7          |
| 20 – 50 %   | 5          |
| 5 – 20 %  | 3          |
| 1 – 5 %   | 2          |
| <1 %  | 1          |

**2.3.1.7 Estandarización del factor ‘Peligrosidad’**

El criterio de peligrosidad tiene una puntuación final en el factor ‘Fuentes de peligro’ de 1.7 puntos como mejor opción disponible ó de 20 puntos en el peor de los supuestos. Puesto que aplicando la metodología descrita en los apartados 2.3.1.1 a 2.3.1.6 se obtiene una puntuación de 2-24 puntos, es preciso aplicar un factor de estandarización. Por lo tanto, el valor de peligrosidad obtenido se deberá dividir por el 1.2 y de esta forma se obtendrá la puntuación normalizada del factor ‘Peligrosidad’, tal y como muestra la ecuación 2.3.

$$Peligrosidad^* (1-20) = Peligrosidad (2-24) / 1.2 \text{ Ec. 2.3.}$$

Donde Peligrosidad\* es el factor ‘Peligrosidad’ estandarizado y Peligrosidad es el factor ‘Peligrosidad’ obtenido de la aplicación de los apartados 2.3.1.1 a 2.3.1.6.

**2.3.2 Caracterización del subfactor ‘Cantidad implicada’**

Otro de los aspectos a tener en cuenta en el análisis de riesgo ambiental es la cantidad almacenada o involucrada en un accidente.

A pesar de que una vez ocurrido un accidente no toda la cantidad involucrada va a ser transportada hasta alcanzar los receptores vulnerables, este factor ofrece una idea de la magnitud del accidente.

En la mayoría de las ocasiones, la información disponible acerca del escenario accidental va a ser muy limitada o inexistente. Las cantidades involucradas en estos casos también resultarán difíciles de estimar en los primeros mo-

*El área afectada por el accidente constituye uno de los criterios más estrechamente relacionados con el tipo de receptor afectado*

mentos de la emergencia. Por ello, con objeto de establecer un factor de ponderación para la cantidad de sustancia química liberada, resulta más práctico recurrir a las cantidades almacenadas que se han visto implicadas.

Por otro lado, si se dispone de mediciones directas o estimaciones más exactas, se deberán utilizar las más precisas en comparación con la cantidad o cantidades almacenadas [6].

**Tabla 2.10.** Valoración de la cantidad para sustancias recogidas en la parte 2 del anexo 1 del Real Decreto 1254/1999

| Cantidad involucrada en el accidente<br>Porcentaje de cantidad reflejada en la columna 3 de la parte 2 del anexo 1 del RD 1254/1999 | Puntuación |
|---|------------|
| ≥ 100 %   | 10         |
| 80 -99 %  | 8          |
| 50 – 80%  | 7          |
| 20 – 50 %   | 5          |
| 5 – 20 %  | 3          |
| 1 – 5 %   | 2          |
| <1 %  | 1          |

**Tabla 2.11.** Valoración de la cantidad para sustancias no recogidas en el Real Decreto 1254/1999

| Cantidad involucrada en el accidente (Tm) | Puntuación |
|---|------------|
| > 500                                     | 10         |
| 250 – 500                                 | 8          |
| 100 – 250                                 | 7          |
| 50 – 100                                  | 5          |
| 5 – 50                                    | 3          |
| 0.5 – 5                                   | 2          |
| < 0.5                                     | 1          |

Tabla 2.12. Valoración del área afectada

| Medio terrestre y acuíferos<br>(Hectáreas) | Medio acuático –<br>Corrientes superficiales<br>(río, canal, riachuelo)<br>(Km) | Medio acuático (lagos,<br>estanques, deltas, estuarios,<br>zonas marítimo costeras)<br>(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          |

Tras determinar la cantidad efectiva involucrada (sumatorio de todas las cantidades implicadas), la metodología procederá a aplicar el criterio recogido en la Tabla 2.9 para el caso de sustancias recogidas en la parte 1 del anexo 1 del Real Decreto 1254/1999. En el caso de sustancias contempladas en la parte 2 del anexo 1 del RD1254/1999, se aplicará la Tabla 2.10. Finalmente, para aquellas sustancias a las que no se aplique el RD 1254/1999 se empleará el criterio establecido en Tabla 2.11.

### 2.3.3 Caracterización del subfactor 'Área afectada por el accidente'

El área afectada por el accidente constituye uno de los criterios más estrechamente relacionados con el tipo de receptor afectado. La importancia de la extensión de un accidente dependerá en gran medida de la calidad/vulnerabilidad del hábitat afectado. En esta línea, la Directiva 96/82/CE, a través del anexo VI del Real Decreto 1254/1999 que la traspone al ordenamiento jurídico español, propone una serie de criterios relacionados con la extensión del área afectada:

- Daños permanentes o a largo plazo causados a hábitat terrestres.
- 0,5 hectáreas o más de un hábitat importante desde el punto de vista de la conservación y protegido por la ley.
- 10 hectáreas o más de un hábitat más extendido, incluidas tierras de labor.

d) Daños significativos o a largo plazo causados a hábitat de aguas de superficie o hábitat marinos:

- 10 kilómetros o más de un río, canal o riachuelo.



*La importancia de la extensión de un accidente dependerá en gran medida de la calidad/vulnerabilidad del hábitat que ha resultado afectado*

- 1 hectárea o más de un lago o estanque.
- 2 hectáreas o más de un delta.
- 2 hectáreas o más de una zona costera o marítima.

e) Daños significativos causados a un acuífero o aguas subterráneas: 1 hectárea o más.

Los criterios o umbrales para la extensión del daño presentados en la Tabla 2.12 consideran la vulnerabilidad/calidad del medio o hábitat y establecen, al mismo tiempo, una clara división para los hábitat de aguas de superficie, hábitat marinos y aguas subterráneas. En este sentido, la importancia de la extensión espacial del daño queda estrechamente unida al tipo y valor de los hábitat afectados [6].

La metodología a seguir será establecer el área afectada mediante la aplicación de modelos matemáticos o programas informáticos adecuados, para posteriormente calcular la puntuación correspondiente según la Tabla 2.12.

### 2.3.4 Caracterización del subfactor 'Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico'

Para caracterizar el factor 'Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico' se va a clasificar el tipo de entorno afectado y la categoría de protección de especies, atendiendo al impacto ecológico que puede causar un posible accidente, y se va a valorar el impacto socio- →

económico 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 afectada. Figura 2

A la hora de establecer una puntuación para el factor 'Vulnerabilidad del entorno natural y socioeconómico' se deberá determinar en primer lugar el área afectada mediante la aplicación de modelos matemáticos o programas informáticos adecuados.

#### 2.3.4.1 Vulnerabilidad ecológica: 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 última información se puede encontrar en la página *web* del Ministerio de Medio Ambiente, en el apartado «Inventario Nacional de Espacios Naturales Protegidos» [8], y en la *web* del Instituto Geominero, en el apartado «Unidades hidrogeológicas de España» [9].

### *Para caracterizar el factor 'Vulnerabilidad del entorno' se valorará el impacto ecológico que puede causar un accidente y el impacto socioeconómico del mismo sobre la actividad económica y la población*

Una vez determinados los usos del suelo y la existencia de espacios protegidos se puntuará el criterio «Tipo de entorno afectado» conforme a lo establecido en la Tabla 2.13.

#### 2.3.4.2 Vulnerabilidad ecológica: categoría de protección de especies

En aquellos 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 ni-

vel autonómico, se puntuará aplicando la Tabla 2.14.

En aquellos casos en los que se dé más de una categoría de protección de las arriba mencionadas en el mismo área, se deberá escoger, de entre las presentes, la que otorgue un mayor incremento a la puntuación obtenida para la vulnerabilidad/calidad del hábitat.

Este tipo de información se puede obtener realizando una consulta a la administración competente (Consejería de Medio Ambiente de la comunidad autónoma correspondiente o, en su defecto, a la Dirección General para la Conservación de la Naturaleza, dependiente del Ministerio de Medio Ambiente) acerca de la flora y fauna bajo alguna de las figuras de protección existentes dentro del área de influencia del escenario accidental objeto de estudio. Además, dicha información también se encuentra en algunos casos en la *web* del Ministerio de Medio Ambiente, en el apartado «Inventario Nacional de Espacios Naturales Protegidos» [8].



**Figura 2.** En el análisis de consecuencias ambientales se valoran tanto las características ecológicas del entorno afectado como las actividades económicas e infraestructuras afectadas.

**Tabla 2.13.** Valoración del tipo de entorno afectado

| Tipo de entorno afectado   | Puntuación |
|--|------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Parque Nacional de la Red de Parques Nacionales de España</li> <li>Humedales Ramsar</li> <li>Lugar de Interés comunitario (LIC)</li> <li>Zona de especial protección de aves (ZEPA)</li> </ul>  | 10         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Reserva natural</li> <li>Reserva natural especial, reserva natural dirigida, reserva natural parcial, reserva natural concertada, reserva integral, reserva natural integral, reserva biológica nacional</li> </ul>   | 9          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Reserva de la biosfera</li> <li>Parque natural</li> <li>Parque regional, parque rural</li> </ul>  | 8          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Monumento natural, monumento natural de interés nacional, enclave natural, árbol singular</li> </ul>  | 7          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Paisaje protegido</li> <li>Paraje natural, paraje pintoresco, paraje natural de interés nacional</li> <li>Sitio de interés científico, sitio natural de interés nacional</li> <li>Biotopo protegido</li> </ul>  | 6          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Refugio de fauna, microrreserva, área natural recreativa, parque periurbano, parque periurbano de conservación y ocio, régimen de protección general, corredor ecológico y de biodiversidad</li> <li>Otras figuras de protección no contempladas anteriormente</li> </ul> | 5          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Tierras cultivadas o viveros</li> </ul>   | 4          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Jardines o parques</li> </ul>   | 3          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Suburbano: baja densidad de edificios</li> <li>Superficies acuáticas altamente artificiales</li> </ul>  | 2          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Urbano: edificios en ciudades o pueblos</li> <li>Industrial: emplazamientos industriales e industrias extractivas</li> <li>Redes de transporte y otras áreas asfaltadas</li> <li>Depósitos de basura y vertederos</li> </ul>  | 1          |

#### 2.3.4.3 Vulnerabilidad socioeconómica: impacto en actividades económicas

Con este criterio se pretende valorar la posible afección a actividades económicas que se realizan en el área afectada por el posible accidente ambiental.

En esta ocasión la puntuación no es gradual sino aditiva. Es decir, la existencia de alguna de las actividades numeradas en la Tabla 2.15 adicionará la puntuación correspondiente al cómputo total del criterio «Impacto en actividades económicas».

Cabe destacar que en el caso de la existencia de agricultura, ganadería, caza y pesca o industrias y comercios agroalimentarios, el incremento de la puntuación es mayor puesto que la afección →

**Tabla 2.14.** Valoración de la categoría de protección de especies

| Categoría 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          |

**Tabla 2.15.** Valoración del 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         |

**Tabla 2.16.** Valoración de la alteración de recursos naturales e infraestructuras

| Recursos naturales e infraestructuras   | 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        |

de estas actividades puede repercutir en una clara vía de exposición de los contaminantes hacia el hombre a través de la cadena trófica.

**2.3.4.4 Vulnerabilidad socioeconómica: alteración de recursos naturales e infraestructuras**

Con este criterio se pretende valorar la posible afección a los recursos naturales y las infraestructuras existentes en el área afectada.

En esta ocasión, la puntuación tampoco es gradual sino aditiva. Es decir, la existencia de alguno de los recursos o infraestructuras numeradas en la Tabla 2.16 adicionará la puntuación correspondiente al cómputo total del criterio «Alteración de recursos naturales e infraestructuras».

Cabe destacar que en el caso de la existencia de suministros de agua, el incremento de la puntuación es mayor puesto que la afección a los suministros de agua puede repercutir en una vía de exposición directa de los contaminantes hacia el hombre.

**2.3.4.5 Vulnerabilidad socioeconómica: población afectada y existencia de población sensible**

Con este criterio se pretende valorar la masa de población afectada ante un accidente medioambiental, así como la existencia de población sensible ante la posible contaminación. El criterio «Población afectada» se valorará con

una escala gradual 1-4 aplicando la Tabla 2.17.

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.

En el caso de la existencia de población sensible, dicho criterio tiene una puntuación aditiva. Es decir, la existencia de alguno de los grupos de población enumerados en la Tabla 2.18 adicionará la puntuación correspondiente a la puntuación de población afectada obtenida en la Tabla 2.17.

**2.3.5 Determinación del Índice de Consecuencias Ambientales**

Tras determinar todos los parámetros que influyen en cada uno de los subfactores, se realiza una normalización para que cada uno de los factores –Fuentes de peligro y Receptores– tenga el mismo peso específico (50%), y de esta forma la puntuación final del Índice de Consecuencias Ambientales tiene una puntuación en el rango de 1.4 a 20 puntos.

La distribución de las aportaciones de cada parámetro en los subfactores, calculados según lo descrito en los apartados 2.3.1 a 2.3.4., y de los subfactores al Índice de Consecuencias Ambientales se muestra en la Tabla 2.19. El subfactor ‘Peligro’ sufre una estandarización previa a la normalización, tal y como se explica en el apartado 2.3.1.7.

**2.4 ANÁLISIS DE PROBABILIDADES**

Una vez que hemos identificado los objetos de riesgo y sus peligros y estimado las consecuencias y la gravedad de éstas, es necesario conocer la probabilidad de que ocurra un determinado

**Tabla 2.17.** Valoración de la población afectada

| 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          |

**Tabla 2.18.** Valoración del impacto en población sensible

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

**Tabla 2.19.** Determinación del Índice de Consecuencias Ambientales

| FACTOR             | SUBFACTOR      | PARÁMETROS                                       | Puntuación Parámetro | Factor estandariz. | Puntuación pre-normaliz. | Factor normalización | Puntuación normalización | Puntuación 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                                   | 1-5                  |                    |                          |                      |                          |                  |
|                    | Sinergia       | 0-3  |                      |                    |                          |                      |                          |                  |
| Cantidad           | Cantidad       | -  | -                    | 1-10               | 1/4                      | 0.3-3.3              |                          |                  |
| Receptores         | Área afectada  | Área   | -                    | -                  | 1-10                     | 1/4                  | 0.25-2.5                 |                  |
|                    | Vulnerabilidad | Tipo de entorno afectado                         | 1-10                 | -                  | 1-30                     | 1/3                  | 0.25-7.5                 |                  |
|                    |                | Categoría de protección de especies              | 1-5                  |                    |                          |                      |                          |                  |
|                    |                | Impacto en actividades económicas                | 0-4                  |                    |                          |                      |                          |                  |
|                    |                | Alteración recursos naturales e infraestructuras | 0-3                  |                    |                          |                      |                          |                  |
|                    |                | Población afectada                               | 1-4                  |                    |                          |                      |                          |                  |
| Población sensible | 0-4            |  |                      |                    |                          |                      |                          |                  |

*La probabilidad de que se produzca un accidente vendrá dada por la empresa a través de los análisis cuantitativos de riesgos realizados previamente en sus instalaciones*

accidente. Para ello podemos recurrir a los datos del análisis cuantitativo de riesgos realizado por la empresa, o bien podemos efectuar un análisis histórico de los accidentes en industrias del mismo tipo, aunque este método será menos exacto debido a las peculiaridades existentes en cada empresa (entorno, profesionalidad de los trabajadores, situación social,...) [6].

La probabilidad/frecuencia asociada a un determinado escenario accidental vendrá dada, en algunos casos en el informe de seguridad, por el propio estableci- ➔



**Tabla 2.20.** Criterios para el factor Frecuencia, equivalencia ACR

| Probabilidad, Análisis Cuantitativo del Riesgo     | Puntuación |
|--|------------|
| $x \geq 1,00 \cdot 10^{-2}$ 5                      | 5          |
| $1,00 \cdot 10^{-4} \leq x < 1,00 \cdot 10^{-2}$ 4 | 4          |
| $1,00 \cdot 10^{-6} \leq x < 1,00 \cdot 10^{-4}$ 3 | 3          |
| $1,00 \cdot 10^{-8} \leq x < 1,00 \cdot 10^{-6}$ 2 | 2          |
| $x < 1,00 \cdot 10^{-8}$ 1                         | 1          |

**Tabla 2.21.** Criterios para el factor Frecuencia, criterio UNE 150008 EX

| Probabilidad, Análisis Cuantitativo del Riesgo      | Puntuación |
|---|------------|
| Entre una vez al año y una vez cada 5 años          | 5          |
| Entre una vez cada 5 años y una vez cada 25 años    | 4          |
| Entre una vez cada 25 años y una vez cada 50 años   | 3          |
| Entre una vez cada 50 años y una vez cada 100 años  | 2          |
| Entre una vez cada 100 años y una vez cada 500 años | 1          |

miento a través de análisis cuantitativos de riesgos (ACR) llevados a cabo con anterioridad en sus instalaciones. En estos casos, la Tabla 2.20 proporciona las equivalencias necesarias a la hora de establecer las puntuaciones del factor 'Probabilidad' [6].

Para aquellos supuestos donde no sea posible obtener la información mencionada en el párrafo anterior, es aconsejable seguir los criterios orientativos basados en la norma UNE 150008 EX «Análisis y evaluación del riesgo medioambiental», que se resumen en la Tabla 2.21.

### 3. DETERMINACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL Y TOMA DE DECISIONES

No existen ni en la legislación al respecto de accidentes graves ni en metodologías generalmente aceptadas valores de tolerabilidad del riesgo. Por ello se ha optado por evaluar la tolerabilidad del riesgo en función de los factores que lo componen: Índice de Consecuencias Ambientales y Frecuencia o Probabilidad).

Esto hace que en muchas ocasiones deben ser las propias empresas que elaboran su análisis de riesgos medioambientales quienes se decidan a colocar la «ba-

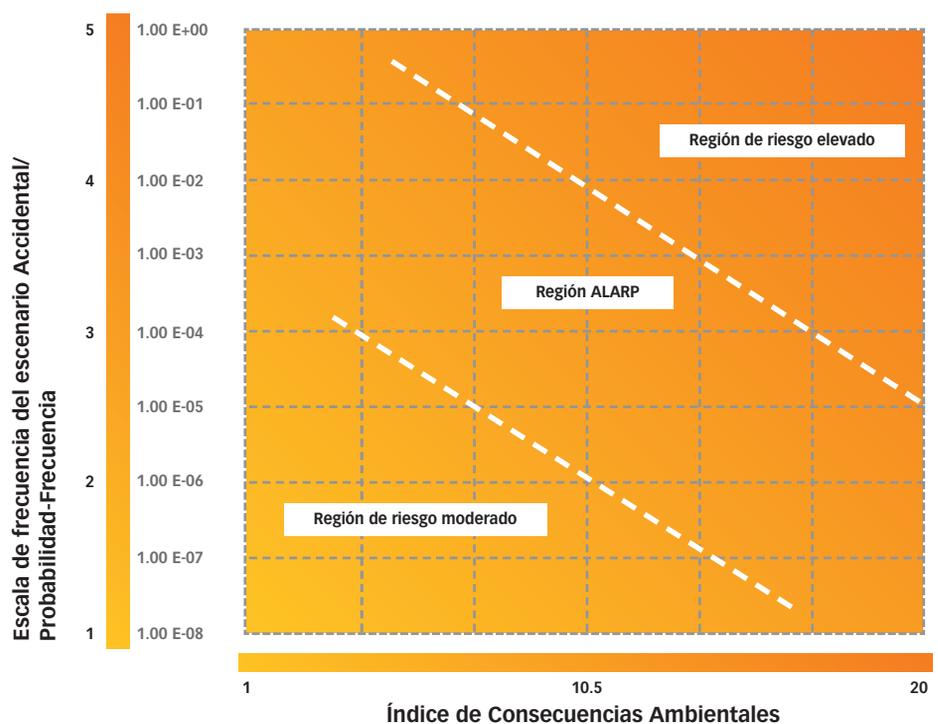
rrera» de la tolerabilidad según datos propios o del sector, y que por supuesto irán modificando en función de su experiencia en este ámbito.

No obstante, y con objeto de facilitar el proceso de evaluación, la Figura 3 ilustra

las distintas áreas o regiones de riesgo medioambiental, en las que se sitúa un determinado Índice de Consecuencias Ambientales y su correspondiente frecuencia/probabilidad. Las tres regiones de riesgo medioambiental son:

- Región de riesgo elevado. En esta área deben ser implantadas medidas de reducción del riesgo, independientemente del coste asociado.
- Región ALARP (*As low as reasonably practicable* o Tan bajo como sea factible). El riesgo medioambiental delimitado por esta región, pese a ser tolerable, debería ser reducido hasta los niveles más bajos que sea factible, sin incurrir en costes desproporcionados. El riesgo sería únicamente tolerable si reducciones mayores de su nivel fuesen impracticables, o tan sólo se alcanzasen mediante un excesivo coste, esfuerzo o tiempo.
- Región de riesgo moderado. El nivel de riesgo de esta área es insignificante. Es probable que se incurra en excesivos

**Figura 3.** Evaluación del Riesgo Ambiental [6].



costes si se toman medidas para alcanzar una mayor reducción.

En la Figura 3., el concepto de Riesgo Ambiental aparece reflejado indirectamente a través de sus dos componentes (Probabilidad-Frecuencia, Índice de Consecuencias Ambientales). La ausencia de valores umbral de riesgo reconocidos con respecto al Índice de Riesgo Ambiental hace conveniente su descomposición en los factores anteriormente mencionados de cara a su evaluación. Consecuentemente, el Índice de Riesgo Ambiental se convierte en un valor indicativo del riesgo que, en ausencia de valores de referencia, es conveniente evaluar mediante la representación gráfica de sus componentes. Sin embargo, a través del valor del Riesgo Ambiental, el responsable del establecimiento posee un conocimiento de los escenarios accidentales con mayor riesgo asociado, en la medida en que siguiendo la definición de riesgo, los Índices de Riesgo Ambiental más elevados se corresponderán con las Probabilidades-Frecuencias e Índices de Consecuencias Ambientales más altos.

El proceso de evaluación implica la posterior gestión y reducción del riesgo, y está fundamentalmente condicionado por factores económicos, organizativos, técnicos y tecnológicos y de plazo. Por ello, en estos procesos de evaluación es habitual que se aborde la reducción sólo de una serie de escenarios, y no de la totalidad, por las limitaciones anteriormente mencionadas. No obstante, deberán tenerse siempre en cuenta aquellos escenarios con un mayor nivel de riesgo asociado [6].

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una nueva metodología para la evaluación de riesgos ambientales centrada básicamente en el uso de indicadores medioambientales. La metodología se centra en determinar los

### *A través del Riesgo Ambiental, el responsable del establecimiento posee (a efectos de gestión) un conocimiento de los escenarios accidentales con mayor riesgo asociado*



dos factores que intervienen en el Riesgo Ambiental: las Consecuencias Ambientales y la Probabilidad de que se produzca un escenario.

La evaluación de las consecuencias se realiza mediante el Índice de Consecuencias Ambientales. Este parámetro se centra en la evaluación de dos factores: las Fuentes de Peligro y en los Receptores. Estos dos factores se subdividen cada uno a su vez en dos subfactores. Las Fuentes de Peligro se determinan a través de los subfactores 'Peligro de la sustancia' y 'Cantidad de sustancia implicada'. El factor Receptores se compone de dos subfactores: el 'Área afectada' y la 'Vulnerabilidad del entorno'.

Para determinar cada uno de los factores y sus respectivos subfactores se establece una metodología de tablas que valora la importancia en cada escenario accidental.

En el caso de la probabilidad también se parametriza a través de varias tablas propuestas.

Combinando el Índice de Consecuencias Ambientales con la Probabilidad se obtiene un valor de Riesgo Ambiental que sirve como herramienta de gestión a la hora de abordar la reducción de riesgos ambientales en industrias. ♦

#### PARA SABER MÁS

- [1] Directiva 96/61/CE del Consejo, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación., in Directiva 96/61/CE. 1996.
- [2] Beltrán, A., Castejón, P; Corma, F; Delgado, JM; Rebollo, JM., Análisis y evaluación del riesgo medioambiental en el sector cerámico. (Aplicación de la Norma Española Experimental UNE 150008 ex. a una industria cerámica), in Conferencias Generales Ponencias Posters Mesa redonda. 2002. p. 25-40.
- [3] Arévalo Fernández, T., Los indicadores medioambientales. Revista Fuentes Estadísticas. Fuentes autonómicas, 2000. 41 (Febrero).
- [4] Castro Delgado, R. y P. Arcos González, El riesgo de desastre químico como cuestión de salud pública. Rev. Esp. Salud Publica, 1998. 72 (6).
- [5] DETR, Environmental Sampling after a Chemical Accident. 1999.
- [6] Guía Técnica. Guía para la realización del análisis del riesgo medioambiental en el ámbito del Real Decreto 1254/99 - Seveso II. 2005, DG Protección Civil. Ministerio de Interior.
- [7] EPA, EPI Suite
- [8] MMA. Inventario Nacional de Espacios Naturales Protegidos (cited; Available from: [http://www.mma.es/conserv\\_nat/inventarios/espacios\\_protegidos/espacios.htm](http://www.mma.es/conserv_nat/inventarios/espacios_protegidos/espacios.htm)).
- [9] IGME. Unidades hidrogeológicas de España, datos básicos (cited; Available from: <http://aguas.igme.es/igme/homec.htm>).