

## Papel futuro de la evaluación de riesgos en seguridad nuclear

por R. Niehaus\*

El último decenio ha sido testigo de un aumento en el número de publicaciones y conferencias científicas [1] sobre evaluación de riesgos. En algunos países se han fundado asociaciones profesionales de análisis de riesgos. Se han llevado a cabo estudios de evaluación de riesgos en relación con problemas tan diversos como la lluvia ácida, las modificaciones climáticas, la capa de ozono, los rayos X en medicina, los nuevos fármacos, etc. En otros estudios se ha analizado la apreciación del riesgo por la población. Se han efectuado los denominados "análisis probabilísticos de riesgo" en los casos de instalaciones nucleares, plantas químicas, terminales de gas natural licuefacto (GNL), etc. Recientemente, la Comisión de Reglamentación Nuclear de los Estados Unidos (CRN) ha decidido adoptar determinados objetivos básicos de seguridad, de tipo cualitativo, y subsidiariamente otros objetivos cuantitativos relativos al diseño para ser aplicados a centrales nucleares durante un período de evaluación de dos años [2]: su consecución solo puede demostrarse llevando a cabo un análisis de riesgos durante la explotación normal y los posibles accidentes. Dada la rápida expansión de esta disciplina en numerosos frentes, cabe preguntarse si la evaluación de riesgos constituye una respuesta científica realmente original a las nuevas necesidades nacidas de la tecnología, o si se trata tan solo de una moda efímera, es decir, de los mismos perros con nuevos collares. Esta interrogante resulta aún más justificable si se tiene en cuenta que todo funcionaba con bastante seguridad antes de que se desarrollasen y aplicasen las técnicas de evaluación de riesgos.

En el presente artículo se examinarán los puntos siguientes:

- en qué medida la evaluación de riesgos ofrece nuevos medios de incrementar la seguridad;
- la situación existente en cuanto a medios disponibles;
- las esferas prometedoras para aplicaciones futuras.

Por evaluación de riesgos se entiende el proceso global de mejoramiento de la seguridad, que está integrado por tres elementos principales: *la estimación del riesgo*, esto es, la determinación y cuantificación de los riesgos; *la evaluación de riesgos*, es decir, el proceso de ponderación y comparación de distintos aspectos de determinados riesgos; y *la gestión del riesgo*, o sea la formulación y aplicación de una política de seguridad.

En el momento actual, la seguridad se consigue gracias principalmente al empleo de criterios deterministas. Cuando un ingeniero diseña un puente incluye en el proyecto un factor de seguridad adicional. Por ejemplo, se estipula

para ciertas vigas una resistencia doble de la que exigiría en puridad la mecánica haciendo abstracción de los márgenes de seguridad. Se supone en tal caso que el factor de seguridad compensará las deficiencias no detectadas en cuanto a calidad del acero, soldaduras, construcción, etc., y en cuanto a ciertos sucesos impredecibles. Por supuesto, se tienen en cuenta también los sucesos previsible, como por ejemplo un elevado nivel de agua o un fuerte viento, o bien posibles terremotos. Los órganos reglamentadores han fijado cierto número de requisitos técnicos apropiados, basados generalmente en la experiencia. Los criterios deterministas han sido definidos de tal manera que resulta muy improbable que la carga para la que se ha diseñado el puente resulte rebasada. Los sucesos considerados probables deben quedar completamente controlados; los que se juzgan improbables no se tienen en cuenta explícitamente.

Si todas las reglas se aplican de manera correcta, el puente ofrece seguridad. El hundimiento es muy improbable, aunque no imposible. Los riesgos restantes pueden estimarse a partir de estadísticas sobre hundimiento de otros puentes semejantes. Una estimación así requiere el juicio de un experto, y es necesariamente subjetiva. La seguridad de las instalaciones nucleares se consigue también gracias a la aplicación de estos criterios deterministas.

### Cómo medir la seguridad sin recurrir a estadísticas

Las actividades industriales originan la emisión de aproximadamente 20 000 millones de toneladas de dióxido de carbono al año, 100 millones de toneladas de azufre, dos millones de toneladas de plomo, etc. Un gran complejo petroquímico situado en Convey Island, en las proximidades de Londres, dispone de capacidad para almacenar más de 100 000 toneladas de GNL y 10 000 toneladas de amoniaco. Un reactor nuclear contiene aproximadamente 8000 millones de curios en sustancias radiactivas.

Todas estas actividades constituyen potencialmente una seria amenaza para el ser humano y su entorno. Empero, no existen pruebas estadísticas claras de cuáles sean las causas de los cambios climáticos, o de las relaciones existentes entre determinados contaminantes y la salud o sus repercusiones en el medio ambiente. Afortunadamente, tampoco existe una base de datos estadísticos para los accidentes nucleares o de GNL que pueda equipararse con la relativa a los puentes.

Dos son las razones las que es preciso evaluar los riesgos:

- Los sistemas han adquirido tal envergadura y, con ello, las consecuencias potenciales del accidente han cobrado

\* El Sr. Niehaus es Jefe del Programa de Evaluación de Riesgos de la División de Seguridad Nuclear del Organismo.

tal importancia que no es posible aguardar hasta disponer de suficientes pruebas estadísticas antes de rectificar los errores:

- Los sistemas han llegado a tal grado de complejidad que la intuición y la experiencia ya no bastan a los responsables de diseño para prever todos los posibles sucesos de importancia.

De esta manera, los modelos teóricos, valiéndose por lo general de complicados códigos de computadora, tienen que sustituir a la experiencia práctica. Estos modelos se basan en la información disponible acerca de los componentes menores del sistema total y en el conocimiento de los fenómenos químicos y físicos. Si los códigos de cálculo incorporan todos los datos y todas las interacciones de componentes de un sistema cabe la posibilidad de simular el comportamiento del sistema total.

Para ilustrar planteamiento pueden servir tres ejemplos breves:

1. Como ya se ha señalado, las actividades del ser humano ocasionan la emisión de unos 20 000 millones de toneladas de  $\text{CO}_2$  cada año. Aproximadamente la mitad permanece en la atmósfera donde va modificándose su composición de manera gradual pero continua. El  $\text{CO}_2$  es fundamental para la existencia de la vida: ahora bien, ¿sabemos acaso si las emisiones de tal magnitud no entrañan un deterioro irremediable del medio ambiente? Para responder a esta cuestión se lleva a cabo una evaluación de riesgos.

Se dispone de información sobre solubilidad del gas en agua salada, perfiles isotópicos oceánicos, tasas de asimilación en las plantas, crecimiento de bosques, transferencia de calor en la atmósfera, circulación del aire, comportamiento del casquete polar, etc. Toda esta información debe incorporarse en modelos que simulan el incremento del  $\text{CO}_2$  atmosférico como consecuencia de distintas tasas de consumo de combustibles fósiles y que permiten estimar los cambios climáticos probables.

2. El segundo de los ejemplos se refiere al dióxido de azufre,  $\text{SO}_2$ , del que son conocidos sus efectos perjudiciales en la salud y en el medio ambiente. Las actividades del ser humano comportan la emisión de millones de toneladas de  $\text{SO}_2$  al año, resultante principalmente del empleo de combustibles fósiles. Dado que es imposible observar directamente los riesgos que entrañan estas emisiones, ¿cómo conocer sus consecuencias potenciales? Para responder a esta cuestión se utilizan modelos de dispersión atmosférica a fin de estimar las concentraciones ambientales. Se realizan estudios epidemiológicos para determinar la relación dosis-efecto. Llegados a este punto, con ayuda de modelos demográficos se evalúa el riesgo total. Al igual que en el primer ejemplo, hay un amplio margen de incertidumbre. No es posible una respuesta definitiva; solamente puede efectuarse un análisis probabilístico.

3. Los dos primeros ejemplos se referían a operaciones industriales ordinarias. Por el contrario, el que se expone a continuación tiene que ver con accidentes hipotéticos. Una central nuclear en funcionamiento contiene, como ya se ha señalado, aproximadamente  $8 \cdot 10^9$  Ci en sustancias radiactivas. Un tanque de almacenamiento grande puede contener 20 000 toneladas de GNL. En caso de escape de una porción considerable podría sobrevenir

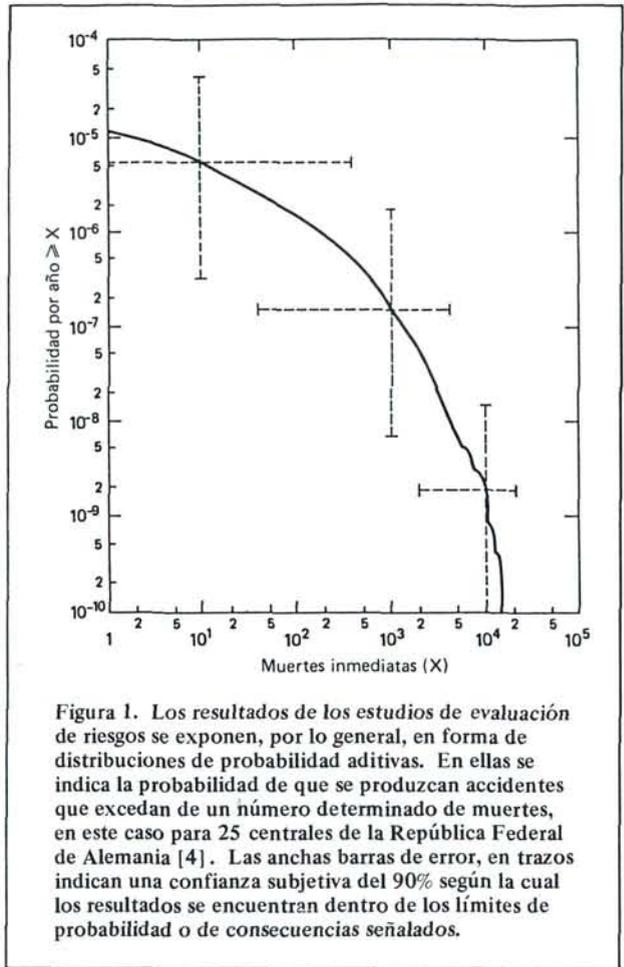


Figura 1. Los resultados de los estudios de evaluación de riesgos se exponen, por lo general, en forma de distribuciones de probabilidad aditivas. En ellas se indica la probabilidad de que se produzcan accidentes que excedan de un número determinado de muertes, en este caso para 25 centrales de la República Federal de Alemania [4]. Las anchas barras de error, en trazos indican una confianza subjetiva del 90% según la cual los resultados se encuentran dentro de los límites de probabilidad o de consecuencias señalados.

una catástrofe. No se dispone de experiencia estadística sobre accidentes de gran envergadura: ¿de qué manera, pues, podemos saber qué precauciones hay que adoptar?

Como ya se ha dicho, para garantizar la seguridad de estas centrales se han adoptado precauciones de seguridad basadas en criterios deterministas. Sin embargo, quedan todavía algunas cuestiones: ¿qué consecuencias cabe esperar de "sucesos" que desborden los criterios de diseño, y cuál es la probabilidad de que sucedan? Para responder a estas preguntas, puede realizarse un Análisis Probabilístico de Riesgos (APR). Se elaboran modelos de secuencias de accidentes y se hacen estimaciones de descargas potenciales y de dispersión de sustancias. Combinando las exposiciones estimadas con los modelos demográficos, se calculan, acto seguido, las consecuencias potenciales.

#### Limitaciones de la evaluación de riesgos

En razón de la escasez de experiencia, estos ejercicios de elaboración de modelos teóricos mediante computadora presentan amplios márgenes de incertidumbre con respecto a las posibles consecuencias y a la probabilidad de que éstas tengan lugar. Volviendo al ejemplo sobre la energía nuclear, en la Figura 1 aparece la distribución de probabilidades aditiva de muertes inmediatas según el "Estudio alemán sobre riesgos" (DRS)\* [4], que sirvió

\* Deutsche Risikostudie.

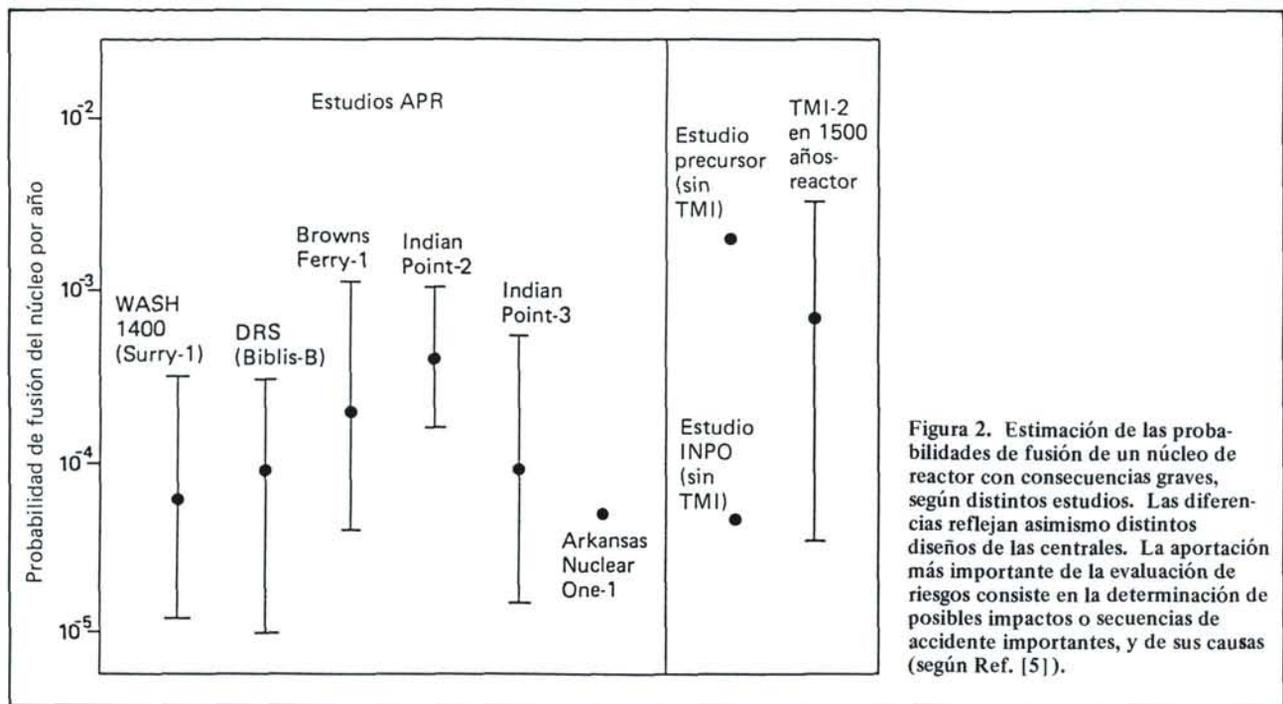


Figura 2. Estimación de las probabilidades de fusión de un núcleo de reactor con consecuencias graves, según distintos estudios. Las diferencias reflejan asimismo distintos diseños de las centrales. La aportación más importante de la evaluación de riesgos consiste en la determinación de posibles impactos o secuencias de accidente importantes, y de sus causas (según Ref. [5]).

recientemente para estimar los riesgos en reactores nucleares de la República Federal de Alemania. Las barras de trazos indican intervalos de confianza subjetiva del 90% que se extienden prácticamente a lo largo de tres órdenes de magnitud. Los márgenes de incertidumbre resultan aún mayores si se comparan los resultados de diferentes estudios. En la Figura 2, la parte de la izquierda es una recopilación de resultados de algunos estudios APR sobre la frecuencia de fusión del núcleo —que es, en buena medida, independiente del emplazamiento— incluyendo, cuando se ha dispuesto de ellos, intervalos de confianza del 90%. En la parte de la derecha se representan resultados del “Precursor Study” [2] y del “INPO\* Study” [5]. Se ha incluido también el accidente de Three Mile Island, hasta el momento es el único que tuvo como consecuencia una fusión parcial del núcleo. Con un accidente observado de fusión del núcleo en 1500 años reactor, la probabilidad de este tipo de accidentes puede cifrarse en  $7 \cdot 10^{-4}$  por año-reactor, aproximadamente. Esta estimación presenta, claro está, un amplio margen de incertidumbre, ya que se basa en la observación de un único accidente.

En realidad, las incertidumbres son mucho mayores. Las razones principales son las siguientes:

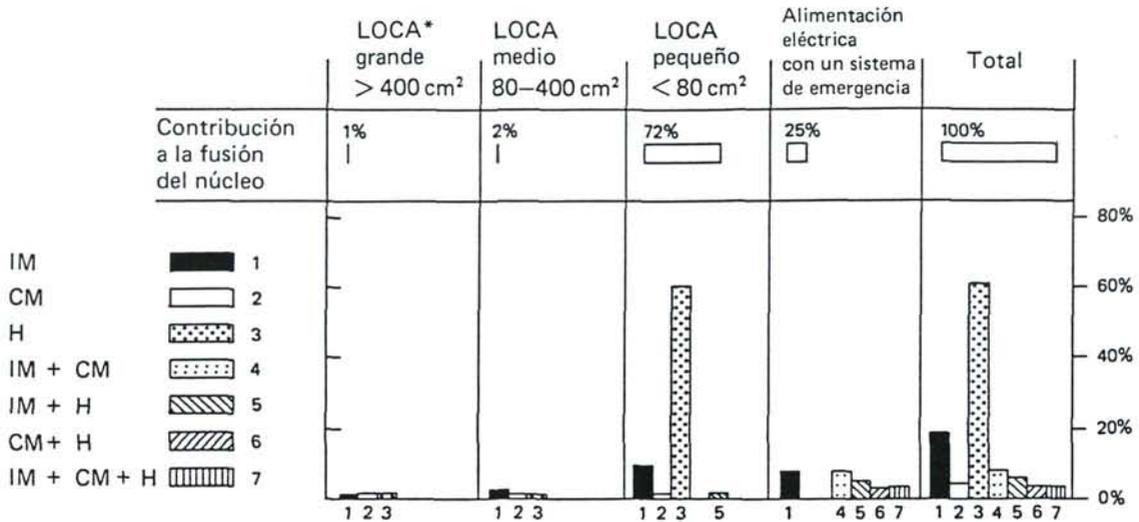
- limitaciones inherentes a los estudios mismos (por lo general no se consideran todos los riesgos; por ejemplo, la intervención humana imprevista en el caso de las centrales nucleares, la presencia de otras trazas de sustancias en el caso del  $CO_2$ , o los efectos sinérgicos de otros contaminantes en el caso del  $SO_2$ );
- limitaciones de los análisis, especialmente en lo tocante a los fallos en modo común y a los errores humanos (solo pueden analizarse los accidentes que han sido previstos);
- limitaciones en cuanto a los datos disponibles (por lo general, se indican en los resultados).

\* Institute of Nuclear Power Operations.

#### Aplicación de los resultados de las evaluaciones de riesgos

Dada la amplitud de las incertidumbres, hay que preguntarse cuál es la utilidad de estos análisis. Por supuesto, la respuesta no es la misma para todos los tipos de estudio de evaluación de riesgos. Se delimitan, no obstante, las cuatro esferas principales de aplicación siguientes.

1. La aplicación más interesante de los estudios de evaluación de riesgos estriba de determinar los factores principales que contribuyen al riesgo: se hace posible determinar posibles repercusiones o secuencias de accidente de envergadura, así como sus causas, junto con medios efectivos para contrarrestarlas. En el Estudio alemán sobre riesgos se indicaban unas 40 posibles modificaciones del diseño que reducirían los riesgos de manera efectiva [4]. Se consiguió también demostrar el importante papel que desempeña el fallo humano en el logro de la seguridad (Fig. 3). En la Figura 4 aparece un ejemplo tomado de la esfera no nuclear [3]. Se pudo incrementar notablemente la seguridad del complejo de Canvey Island tras haber llevado a cabo un análisis de riesgos. Las evaluaciones de riesgos sirven también para valorar y comparar distintos diseños o emplazamientos de instalaciones propuestas, todos los cuales han de cumplir requisitos de seguridad establecidos.
2. La evaluación de riesgos puede utilizarse para precisar más a fondo los criterios deterministas por los que se rige actualmente la seguridad de las instalaciones técnicas.
3. Si el margen de incertidumbre es razonablemente estrecho, es posible utilizar los resultados de los estudios de evaluación de riesgos para situar determinados riesgos en perspectiva.
4. Si el grado de incertidumbre es muy grande en términos absolutos, el proceso de análisis podría revestir por sí mismo más importancia que los resultados obtenidos. La elaboración sistemática de modelos permite comprender



\* Accidente con pérdida de refrigerante.

Contribución a la fusión del núcleo por:  
 Fallo material independiente (IM)  
 Fallo material de modo común (CM)  
 Error humano (inclusive de modo común) (H) [10]

Figure 3. Según este diagrama en barras, más del 60% de todos los accidentes de fusión de núcleo estimados serían causados por un fallo humano (según Ref. [4]).

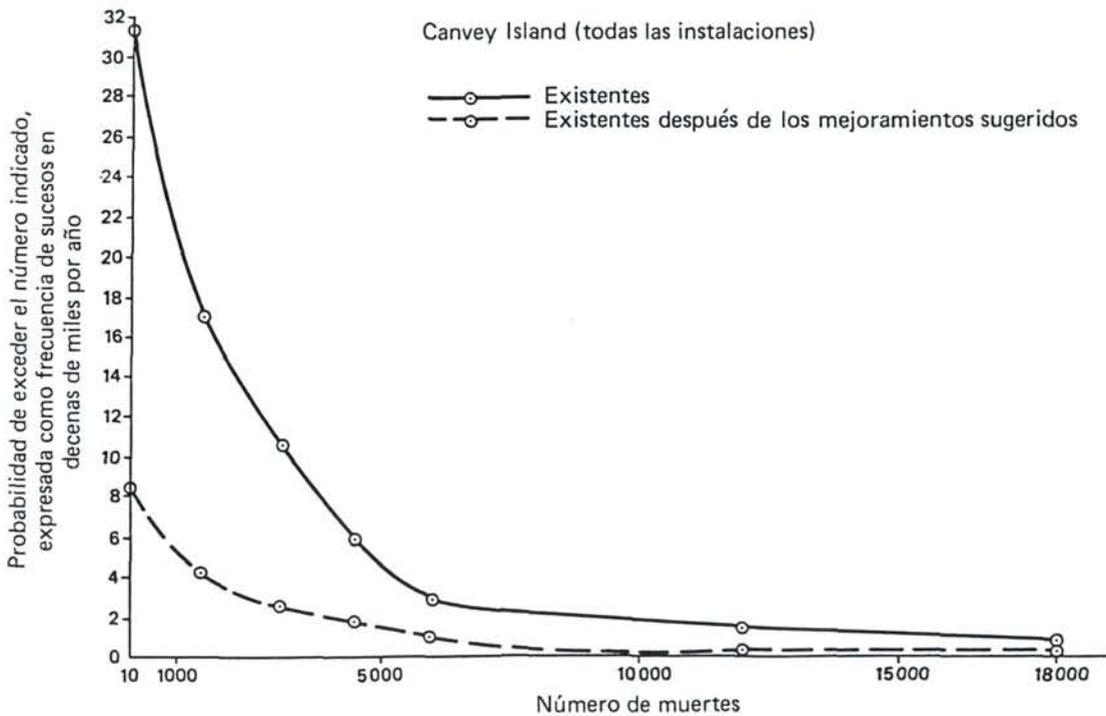


Figure 4. Un estudio de evaluación de riesgos de Canvey Island (un gran complejo petroquímico), ha sugerido determinado número de mejoras muy eficaces en cuanto a reducción de riesgos (según Ref. [3]).

mejor la interacción de los componentes de sistemas. Con frecuencia, las conclusiones cualitativas obtenidas bastan por sí mismas para impulsar mejoras en materia de seguridad.

**Diferencias cualitativas**

Se han examinado hasta aquí solamente aspectos técnicos relativos a datos y a metodología. Sin embargo, aunque dos riesgos distintos puedan afectar, en promedio, al mismo número de personas, podría sentirse más inclinación a contrarrestar una de ellos en razón de sus propiedades físicas o porque resultase más amenazador. En el Cuadro 1 se recoge cierto número de factores que se sabe inciden en la importancia de los riesgos [6]. Para caracterizar brevemente este sector crítico, que se denomina habitualmente "evaluación de riesgos", se citarán a continuación dos ejemplos.

*Riesgos de baja probabilidad/consecuencias graves:* Existe una notable preocupación por los accidentes que afectan a un gran número de personas al mismo tiempo. ¿Conviene tratar de la misma manera los accidentes que afectan a una persona por año que aquellos que, produciéndose una vez cada mil años, afectan a mil personas? La tendencia general en las tecnologías

**Cuadro 1. Los riesgos pueden ser cualitativamente distintos aun cuando, en promedio o a largo plazo, puedan ocasionar los mismos daños. Esto se aplica tanto a los distintos tipos de efectos en la salud como a los sujetos expuestos y el grado de exposición. En el presente cuadro se resumen algunos de estos factores.**

● Profesional	—	Efectos en el público
● Individual	—	Exposición de la población
● Voluntario	—	Exposición involuntaria
● Inmediato	—	Efectos retardados
● Controlable	—	Efectos incontrolables
● Alta probabilidad/ consecuencias leves	—	Baja probabilidad/ consecuencias graves
● Incertidumbre pequeña	—	Incertidumbre grande

modernas tiene como resultado un aumento de la seguridad con un desplazamiento cualitativo de los riesgos de alta probabilidad/consecuencias leves hacia los de baja probabilidad/consecuencias graves. Como ejemplo de este enunciado (vinculado a consideraciones técnicas y económicas) se tienen los accidentes de aviación, según se indican en la Figura 5 [7]. El riesgo medio por pasajero · kilómetro ha

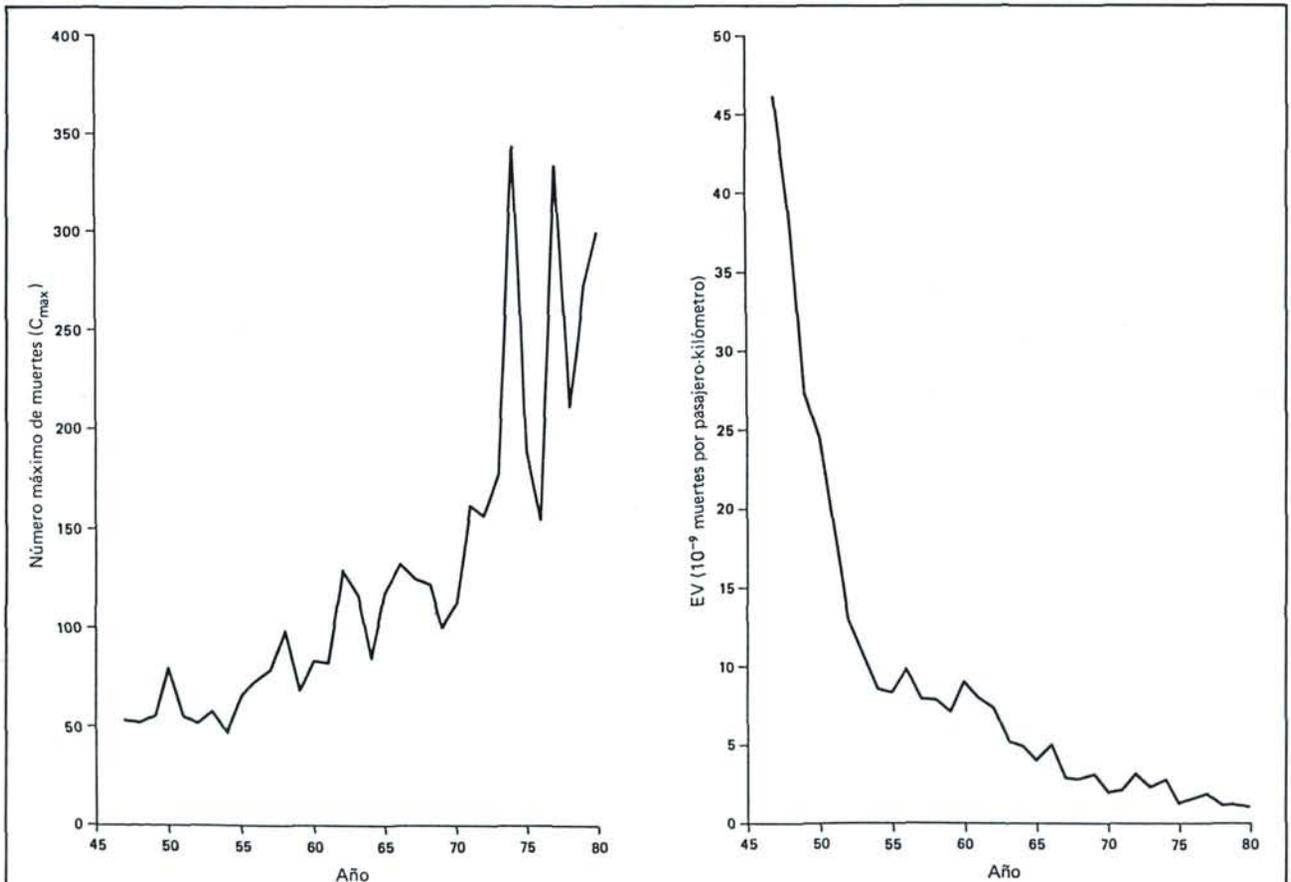


Figura 5 a + b. El diagrama representa la evolución histórica de los accidentes de aviación. La reducción del riesgo medio por pasajero · kilómetro (EV) se ha efectuado a expensas de un aumento en la probabilidad de accidentes que afectan a un mayor número de personas simultáneamente. El accidente más grave de cada año (una sola aeronave) se ha representado gráficamente como C\_max. Es evidente que se ha producido un desplazamiento cualitativo del factor riesgo, originado por muy diversas causas. Este mismo fenómeno es apreciable en otros muchas tecnologías modernas.

descendido notablemente. Sin embargo esta reducción se ha conseguido a costa de aumentar el potencial de accidentes de baja probabilidad/consecuencias graves que repercuten en un gran número de pasajeros simultáneamente.

*Incertidumbres en cuanto a los riesgos:* Todas las evaluaciones de riesgos están expuestas a incertidumbres. La incertidumbre acerca de determinada eventualidad es uno de los atributos más importantes de una situación "de riesgo". Esto puede ilustrarse mediante un ejemplo. Empleando el diseño "A" se conoce con toda certeza que esa tecnología podría entrañar accidentes que afectarían una vez cada mil años a cien personas. De este modo, en promedio, cabría esperar un accidente mortal cada diez años. Para el otro diseño "B", las mejores estimaciones dan en promedio exactamente los mismos resultados. Sin embargo, se desconoce si son solamente diez o, en el peor de los casos, mil personas las que podrían resultar afectadas. A la hora de elegir entre estos dos diseños, la mayoría se inclinaría decididamente por el "A", ya que reduce el margen de incertidumbre. Así, la incertidumbre constituye uno de los aspectos más importantes de una situación de riesgo. (Véase también [8].)

### Criterios de decisión

Como ya hemos visto, la seguridad se consigue mediante el cumplimiento de criterios, principalmente deterministas, basados en gran medida en la experiencia, ya sea adquirida directamente o por extrapolación a partir de otra anterior. Algunos países elaboran, para completar estos criterios, objetivos de seguridad cualitativos y cuantitativos. Cabe citar, por ejemplo, los objetivos cuantitativos provisionales, relativos al diseño publicados recientemente por la CRN de los Estados Unidos para ser utilizados durante un período de evaluación de dos años, objetivos que se resumen en el Cuadro 2 [2]. Los objetivos de seguridad se basan en los criterios generales siguientes:

1. Puede fijarse un objetivo con el fin de limitar los riesgos individuales en las proximidades de la central. Dicho objetivo está basado en una persona media o, bien en un individuo expuesto al riesgo máximo.
2. Además, puede fijarse un objetivo que limite el riesgo con respecto a la sociedad o con respecto a subgrupos de población.
3. Estos dos objetivos pueden completarse con un criterio de eficacia: reducir riesgos aún en mayor medida si ello es factible a determinado coste, o si resulta técnicamente posible, o si es práctico, etc.
4. Asimismo, cabe establecer determinados límites a la probabilidad o a las consecuencias de determinados tipos de accidente (por ejemplo, fusión del núcleo) o al funcionamiento de determinados sistemas de seguridad (por ejemplo, la contención).

Puede elaborarse un conjunto completo de criterios como los que anteceden, o bien pueden seleccionarse algunos de ellos. Cabe también considerar, como ya se ha visto, determinados tipos de riesgo cualitativamente distintos. Resulta posible, por ejemplo, imponer limitaciones adicionales a accidentes de gran magnitud [9] o bien elaborar distintos criterios para la explotación en régimen ordinario o para posibles accidentes [10]. Sin embargo, ha de hacerse hincapié en que la utilidad de la evaluación de riesgos no depende de la determinación de objetivos de seguridad o de diseño.

**Cuadro 2. La CRN de los Estados Unidos ha decidido adoptar objetivos cualitativos de seguridad junto con objetivos cuantitativos de diseño para centrales nucleares, a utilizar durante un período de evaluación de dos años. Los objetivos cuantitativos se resumen en el presente cuadro.**

#### Objetivos cuantitativos de diseño de la CRN de los Estados Unidos

- *Riesgos individual:* Para un individuo medio, en las proximidades de una central nuclear el riesgo de muerte inmediata como consecuencia de accidentes en el reactor no debería exceder la décima parte del 1% de la suma de los riesgos de muerte inmediata como consecuencia de otros accidentes a los que esté expuesta normalmente la población de los Estados Unidos.
- *Riesgos sociales:* Para la población de la zona próxima a una central nuclear, el riesgo de muerte por cáncer como consecuencia del funcionamiento de una central nuclear no debería exceder la décima parte del 1% de la suma de los riesgos de muerte por cáncer como consecuencia de todas las demás causas.
- *Eficacia:* Las ventajas derivadas de una reducción adicional de los riesgos de mortalidad para la sociedad deberían compararse con los costes asociados, sobre la base de 1000 dólares por persona-rem protegida.
- *Comportamiento del núcleo:* La probabilidad de que se produzca un accidente en un reactor nuclear como consecuencia de una fusión importante del núcleo debería ser normalmente inferior a 1 en 10 000 por año de explotación del reactor.

Hasta la fecha se dispone de experiencia limitada en lo tocante a objetivos de seguridad cuantitativos. Habida cuenta del margen de incertidumbre inherente a la evaluación de riesgos, será necesario establecer un sólido vínculo entre los objetivos y el método de evaluación, así como definir con precisión en qué condiciones se ha demostrado la consecución de determinados objetivos. En todo caso la evaluación de riesgos, completada posiblemente por los objetivos de seguridad, se utilizará en el futuro para elaborar más a fondo los actuales criterios deterministas de seguridad y fiabilidad de los componentes de sistemas.

#### Aceptación por el público

La finalidad principal de la evaluación de riesgos es mejorar la seguridad y reducir los riesgos al mínimo, pero no conseguir la aceptación pública de ciertas tecnologías. Sin embargo, la existencia de datos técnicos cuantitativos puede desempeñar un papel importante a la hora de racionalizar los debates o las controversias. En un proceso de estas características, los números absolutos son menos importantes que la perspectiva general que ofrecen los resultados. La evaluación de riesgos puede ayudar también a atraer la atención sobre la importancia relativa de determinado problema. En el caso de la energía nucleoelectrónica, por ejemplo, parece necesario no perder de vista un hecho importante: esta energía tiene una incidencia ambiental escasa durante la explotación en régimen ordinario [11]. Además de ayudar a situar en perspectiva los problemas, o partes de ellos, la evaluación de riesgos contribuirá a incrementar la confianza en los órganos reglamentadores, ya que dará mayor coherencia y transparencia a las disposiciones jurídicas. Un aumento de la credibilidad y de

**Puntos más sobresalientes del programa de evaluación de riesgos del OIEA**

El *Simposio internacional sobre los riesgos y beneficios de los sistemas de energía*, que se celebrará en el Centro de Investigaciones Nucleares de Jülich (República Federal de Alemania), del 9 al 13 de abril de 1984, tiene como objetivo analizar el papel de la energía nucleoelectrónica en relación con otros sistemas de suministro de energía, así como informar imparcialmente acerca de los riesgos y beneficios respectivos.

El *programa coordinado de investigación del OIEA* (en el que participan 15 Estados Miembros) *sobre comparación del costo-eficacia de la reducción de riesgos en diferentes sistemas energéticos* trata de determinar la asignación óptima de recursos para acrecentar la seguridad en el ciclo del combustible total de los sistemas energéticos [12].

El *programa coordinado de investigación del OIEA* (en el que participan 15 Estados Miembros) *sobre desarrollo de criterios para su empleo en el Ciclo del combustible nuclear* persigue elaborar un conjunto coherente de métodos y criterios para expresar los riesgos en el caso del ciclo del combustible total del reactor de agua ligera [13].

Un programa del OIEA consistente en seminarios, cursos, reuniones de expertos y documentos técnicos sobre determinados temas tiene por finalidad recopilar, evaluar y difundir información sobre métodos y resultados de los trabajos relativos a la evaluación de riesgos en Estados Miembros, incluyendo la difusión de datos sobre seguridad nuclear entre el público.

la confianza en dichos órganos constituirá la aportación más importante de la evaluación de riesgos a una mayor aceptación de la energía nucleoelectrónica por el público.

**Conclusiones**

Pese al amplio margen de incertidumbre, la evaluación de riesgos desempeñará en el futuro un papel cada vez más importante con vistas a garantizar la seguridad de instalaciones industriales en gran escala, incluyendo las del ciclo del combustible nuclear. Las evaluaciones cuantitativas de riesgos permiten alcanzar un conocimiento más profundo, especialmente en la determinación de parámetros de riesgo importantes. Aun cuando el margen de incertidumbre sea amplio, los conocimientos obtenidos al realizar el análisis serán útiles para mejorar la seguridad.

La comprensión cabal de los sistemas gracias a la evaluación de riesgos es útil al menos en los siguientes aspectos:

- para evaluar la seguridad mediante una mejor capacitación del personal;
- para determinar prioridades de investigación y desarrollo;

- para elaborar más a fondo criterios deterministas de seguridad;
- para complementar la seguridad actual mediante el tratamiento de las interacciones del sistema global, incluyendo sucesos (improbables) inferibles solo teóricamente.

De esta manera, la evaluación de riesgos está concebida, no para sustituir el planteamiento actual de la seguridad, sino para completarlo; además ayudará a perfeccionar los criterios deterministas de seguridad. Es también un medio potencial de aumentar la credibilidad de los órganos reglamentadores al conferir una mayor coherencia y transparencia a las disposiciones jurídicas. Si se comprenden adecuadamente los límites de la evaluación de riesgos, ésta puede constituir un importante instrumento para conseguir la seguridad nuclear en los decenios venideros.

**Referencias**

[1] H. Inhaber, S. Norman, *The Increase in Risk Interest. Risk Analysis* Vol.2, No.3 (1982).

[2] **Nuclear Regulatory Commission de los Estados Unidos** *Policy Statement on Safety Goals for the Operation of Nuclear Power plants* No. 83-39, Office of Public Affairs, Washington, D.C. 20555 (14 de marzo de 1983).

[3] **Canvey Island Study, Canvey: Summary of an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area** Health and Safety Executive, Londres (1978). '8).

[4] **Deutsche Risikostudie, Kernkraftwerke: Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko** TUeV Rheinland GmbH, Colonia (1979).

[5] A. Birkhofer, *Das Risikokzept aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht* Kurzreferat beim 7. Deutschen Atomrechts-Symposium 1983, Göttingen (FRG) (16 de marzo de 1983).

[6] F. Niehaus, E. Swaton, *Risk Assessment and Public Acceptance of Nuclear Power* Serie Seminari, ENEA, Roma, Italia (1981).

[7] F. Niehaus, G. de Leon, M. Cullingford, *The Trade-Off Between Expected Risk and the Potential for Large Accidents* Presented at the Workshop on Low Probability/High Consequence Risk Analysis, 15-17 de junio de 1982, Arlington, Virginia, EE.UU.

[8] P. Slovic, B. Fischhoff, S. Lichtenstein, *Is Society Really Risk Adverse?* Presented at the Workshop on Low probability/High consequence Risk Analysis, 15-17 de junio de 1982, Arlington, Virginia, EE.UU.

[9] **Nuclear Regulatory Commission de los Estados Unidos** *An Approach to Quantitative Safety Goals for Nuclear Power Plants* NUREG-0739 (1980).

[10] M.J. Clark, A.B. Fleischman, G.A.M. Webb, *Optimization of the Radiological Protection of the Public* NRPB-R120 (julio de 1981)

[11] E. Swaton, *Attitudes Toward Risk: A Cross-Cultural Comparison* Presentado en el Status Seminar "Tasks, Methods and Predictive Power of Risk Research", 24-25 de noviembre de 1980, organizado por la Universidad de Bielefeld, Bielefeld.

[12] F. Niehaus, A. Novegno, *Optimal Allocation of Resources for Safety Presented at the Symposium on the Assessment and Perception of Risk To Human Health. Ontario, Canadá, 18-19 de octubre de 1982.*

[13] M. Cullingford, F. Niehaus, S. Vuori, *Use of Risk Analysis in Safety Decisions* Presented at the Annual Congress of the French Society of Radioprotection, 18-22 de octubre de 1982, Aviñón, Francia.