

COMENTARIOS A LOS OBJETIVOS DE SEGURIDAD

Juan MANUEL BLANCO

Como consecuencia del accidente de TMI-2 se ha planteado en EE.UU. la necesidad de disponer de unos objetivos de seguridad que permitan una reglamentación más consistente y coherente de las centrales nucleares, un proceso de licenciamiento más predecible, un mejor entendimiento por parte del público de la actuación del organismo regulador (N.R.C.) y una mayor confianza en la seguridad de las centrales nucleares en operación.

Para alcanzar estos fines, la N.R.C. publicó para comentarios el 12 de febrero de 1982 una «Declaración de la Política Propuesta de los Objetivos de Seguridad para las Centrales Nucleares», terminando el período de comentarios el 18 de mayo de 1982.

Dada la trascendencia que puede tener el tema, es oportuno analizar brevemente los objetivos de seguridad propuestos.



Juan MANUEL BLANCO es actualmente el Jefe de Licenciabilidad y Combustible de C. N. Almaraz, en cuyo proyecto ha participado desde su principio. También participó en el mismo puesto en el proyecto de Valdecaballeros hasta la obtención de la autorización de construcción.

Alcance de los objetivos

En primer lugar, es interesante comentar el alcance de los objetivos, ya que se refieren exclusivamente a los accidentes nucleares en centrales en operación. No cubren las emisiones rutinarias durante la operación de las centrales, porque la N.R.C. considera que están adecuadamente cubiertos con los criterios A.L.A.R.A. definidos en el Apéndice I del 10CFR50. Tampoco incluyen los accidentes nucleares consecuencia de un sabotaje ni el almacenamiento final del combustible irradiado. Estas dos omisiones son sorprendentes, máxime en unos objetivos de seguridad que pretenden ser ambiciosos y ganarse la confianza del público.

Objetivos de seguridad cualitativos

En la polémica existente (objetivos cualitativos v.s. objetivos cuantitativos) han resultado finalmente vencedores los objetivos cualitativos, o mejor dicho, se ha optado por una posición intermedia, ya que se utilizan los objetivos cualitativos junto con unas guías numéricas provisionales, a las que no se ha dado la categoría de objetivos y claramente han sido calificadas de provisionales.

Las razones de adoptar los objetivos cualitativos estriban en su más fácil comprensión por parte del público y en la falta de confianza en la metodología de evaluación de riesgos mediante probabilidades (P.R.A.), al menos hasta que haya un período de rodaje más largo.

Estos objetivos están definidos actualmente de la siguiente forma:

«El público debería estar protegido de un accidente nuclear en una central, de tal forma que ningún individuo tuviera que soportar un riesgo adicional significativo a su vida y salud.»

Con este objetivo se pretende alcanzar un nivel de seguridad tal que un vecino de una central nuclear no sienta especial preocupación por vivir en sus proximidades.

El segundo objetivo está definido de la siguiente forma:

«Los riesgos sociales a la vida y salud derivados de un accidente nuclear en una central deberían ser tan bajos como razonablemente se pudiera alcanzar y comparables o menores que los riesgos de las otras fuentes de energía eléctrica, viables y competitivas.»

Con este objetivo se reconoce que el riesgo-cero no es alcanzable, pero se ponen unos límites al riesgo, exigiendo que sean comparables o menores a los de otras fuentes de energía eléctrica y tan bajos como la tecnología permita en cada momento.

Guías numéricas provisionales

La N.R.C. ha propuesto las siguientes guías numéricas provisionales.

Riesgo de mortalidad individual y social

«El riesgo a un individuo o a la población en la vecindad del emplazamiento de una central nuclear de muerte rápida ocasionada por un accidente nuclear no debería ser superior a la milésima parte del riesgo de muerte rápida por todos los accidentes a los que habitualmente está expuesta la población en EE.UU.»

«El riesgo a un individuo o a la población del área cercana al emplazamiento de una central nuclear de muerte por tumor ocasionado por un accidente nuclear no debería ser superior a la milésima parte del riesgo de muerte por tumor por cualquier otra causa.»

Estas guías numéricas propuestas tienen las siguientes características:

a) Se refieren a un emplazamiento en el que puede estar ubicado más de un reactor.

b) Conjugan los riesgos individuales con los sociales, con lo cual se evita el posible punto débil de los objetivos basados en los riesgos a la población, que podrían resultar en reactores construidos en lugares remotos con bajo riesgo a la población en su conjunto pero con posibles riesgos individuales altos.

c) Se ha optado por un objetivo de seguridad específico para cada emplazamiento, en vez de genérico para toda la población de reactores en EE.UU. como había sido propuesto por algunas personalidades u organizaciones.

d) Las guías propuestas son la traducción numérica de los objetivos de seguridad cualitativos.

La N.R.C. indica en su declaración que a la hora de aplicar estas guías numéricas hay que entender por vecindad, a efectos de posible muerte rápida, el área dentro de una milla de la frontera del emplazamiento y de muerte por tumor un área de 50 millas.

En España, el riesgo de muerte por accidente es del orden de 4×10^{-4} /persona-año y el riesgo de muerte por tumor de $1,5 \times 10^{-3}$ /persona-año. Las guías numéricas anteriores indican que la población en torno a una central nuclear debería tener un riesgo mil veces más pequeño; es decir, 4×10^{-7} /persona-año y $1,5 \times 10^{-6}$ /persona-año, respectivamente.

Guía de coste-beneficio

Con objeto de dar una guía numérica que concrete el segundo objetivo cualitativo que introduce el concepto A.L.A.R.A., la N.R.C. ha propuesto el

La probabilidad de un accidente nuclear que origine una fusión grande del núcleo debería ser inferior a uno en 10.000 por año de operación del reactor.

valor de 1.000 \$ por cada hombre-rem que se evite, es decir:

«El beneficio de una reducción adicional del riesgo por debajo de las guías numéricas de los riesgos de mortalidad social debería compararse con los costes asociados sobre la base de 1.000 \$ por cada hombre-rem que se evite.»

Hagamos el siguiente ejercicio práctico. Supongamos un emplazamiento medio español, cuya distribución de población se ajusta a la ecuación $P = d\pi R^2$, donde d es la densidad de población en España ($d = 75 \text{ h/km}^2$) y R la distancia a la central en km. Supongamos que ocurra un LOCA, la variación de la exposición con la distancia responde a la relación $(R/R_0)^{-1.5}$, donde R_0 es el radio de exclusión. Para simplificar supondremos que $R_0 = 1 \text{ km}$ y que la población está concentrada a la distancia R , siendo afectada sólo la población de un cuadrante.

De acuerdo con ello se puede calcular el número de hombre-rem de la forma siguiente:

El número de hombres-rem resultante es de 35.674, que a razón de 1.000 \$/hombre-rem da un incentivo de 35.674.000 \$. Esta cantidad no es excesiva, dada las inversiones efectuadas en una central nuclear. Sin embargo, si en vez de adoptar el criterio de rem a todo el cuerpo (25 rem, cuando $R = R_0$), utilizamos el criterio de rem al tiroides (300 rem, cuando $R = R_0$) el incentivo es de 428 millones de dólares, que es una cantidad ya excesiva.

Por lo tanto, parece conveniente aclarar si el criterio de 1.000 \$ se refiere a rem a todo el cuerpo o al tiroides.

Supongamos una central que tenga un núcleo de población de un millón de habitantes a una distancia de 30 km. Dado que la exposición a todo el cuerpo es 0,15 rem, el incentivo sería de 150 millones de dólares. Por consiguiente, parece que el objetivo de 1.000 \$/rem a todo el cuerpo es adecuado, ya que cubre convenientemente los grandes núcleos de población próximos a las centrales nucleares.

R (km)	$(R/R_0)^{-1.5}$	Exposición todo cuerpo (rem)	1/4 población (hombres)	Dosis (hombre-rem)
1	1	25	59	1.470
2	0,354	8,85	177	1.570
4	0,125	3,13	707	2.210
6	0,068	1,70	1.180	2.010
8	0,044	1,10	1.650	1.820
10	0,032	0,80	2.120	1.700
15	0,017	0,43	7.360	3.160
20	0,011	0,28	10.300	2.880
30	0,006	0,15	29.500	4.430
50	0,003	0,08	94.200	7.536
80	0,001	0,03	229.612	6.888

Fusión grande del núcleo

La siguiente guía numérica es eminentemente técnica y por ello se puede asegurar que será la más utilizada en el proceso de licenciamiento.

Actualmente está redactada de la siguiente forma:

«La probabilidad de un accidente nuclear que origine una fusión grande del núcleo debería ser inferior a uno en 10.000 por año de operación del reactor.»

Sobre esta guía numérica se pueden hacer los siguientes comentarios:

a) Es una guía del tipo R-A, es decir, que da un límite para cada reactor-año. Se podía haber adoptado el criterio de Zebrosky, (tipo A), que limita la probabilidad de una fusión grande del núcleo en un año para toda la población de reactores en EE.UU. Este último criterio puede limitar el número de reactores operando en un año en un país.

b) Al ser una guía numérica (tipo R-A) con un solo límite, es igual para todos los reactores, tanto los viejos como los nuevos.

Si hubiera sido una guía numérica del tipo A se podría haber permitido a los reactores más viejos tener una mayor probabilidad de fusión del núcleo, si a los reactores nuevos se les exigía una menor probabilidad.

Como consecuencia de la aplicación de esta guía es posible que haya que hacer modificaciones importantes en los reactores más veteranos.

c) El valor indicado por esta guía (10^{-4} /reactor-año) es el propuesto por el A.C.R.S. En general la N.R.C. ha adoptado los valores propuestos por el A.C.R.S., especialmente el riesgo de mortalidad individual y social y el riesgo de accidente nuclear con fusión grande del núcleo.

El valor propuesto de 10^{-4} /reactor-año no es muy bajo, si se tiene en cuenta que la probabilidad de fusión del núcleo evaluada en el W.A.S.H.-1.400 es 5×10^{-5} /reactor-año, si bien Wall (E.P.R.I.) asocia a este número un margen de error del orden de 12.

Es conveniente tener en cuenta que, de acuerdo con el W.A.S.H.-1.400, sólo 1 de cada 50 accidentes con fusión del núcleo es capaz de producir muertes rápidas.

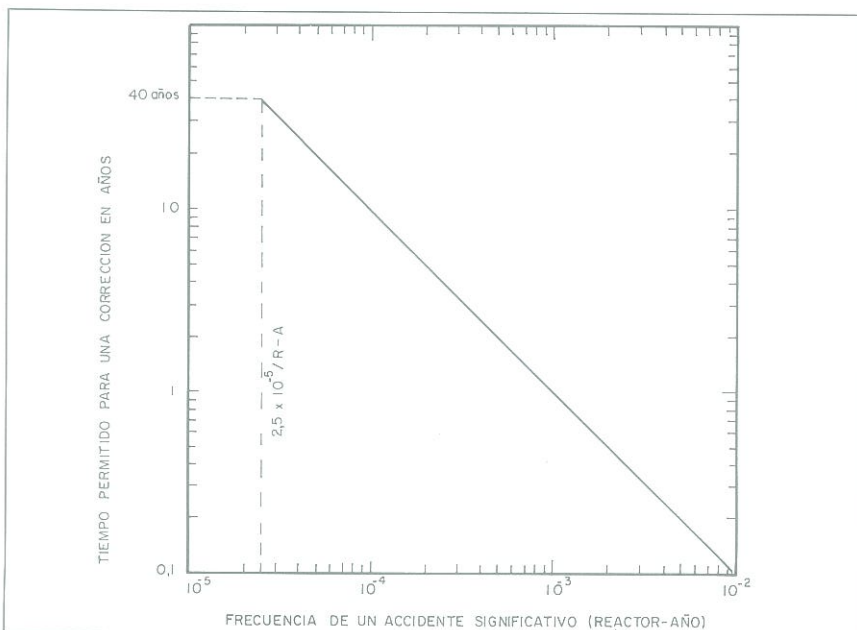


Fig. 1
Tiempo disponible para efectuar una corrección en función del valor descubierto de la frecuencia de un accidente significativo.

d) Aplicando la guía numérica que limita la frecuencia de una fusión del núcleo (cm) a 10^{-4} /reactor-año la probabilidad de fusión del núcleo (Pcm) en los cuarenta años de vida esperada es de 0,4 %, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{cm} \text{ por reactor-año} = 1 - \exp(-\lambda_{cm} t)$$

Es decir:

Frecuencia límite de accidentes con fusión del núcleo (por reactor-año)	Probabilidad fusión núcleo permitida al final de la vida (40 años) con el criterio tipo R-A
10^{-2}	33 %
5×10^{-3}	18 %
10^{-3}	4 %
5×10^{-4}	2 %
10^{-4}	0,4 %
5×10^{-5}	0,2 %
10^{-5}	0,04 %
10^{-6}	0,004 %

La guía numérica provisional de accidentes con fusión del núcleo tiene un gran número de aplicaciones prácticas en licenciabilidad, como refleja un memorándum muy interesante de Rowsome (N.R.C.), basado en las siguientes hipótesis:

«Debemos aceptar hasta un 0,1 % de frecuencia/unidad de un accidente significativo, por ejemplo, uno de la severidad de T.M.I.-2 o peor, en el intervalo entre el descubrimiento de la deficiencia y el momento de corregirla, otro 0,1 % de frecuencia mientras se decide una política de modificaciones a medio plazo, y un tercer 0,1 % de frecuencia para el resto de la vida de servicio de la unidad.»

Si denominamos:

$\lambda_{cd}(D)$ = frecuencia de un accidente significativo por reactor-año estimado para una central (El descubrimiento de esta estimación puede tener lugar en cualquier momento durante la vida de servicio de la central, que se supone de 40 años).

$\lambda_{cd}(G)$ = frecuencia objetivo de un accidente significativo por reactor-año (Este objetivo está implícito en las hipótesis de Rowsome. Este objetivo se debe alcanzar mediante acciones correctivas que se realizarán en el tiempo, ts).

td = tiempo en años desde el comienzo de la operación del reactor cuando se des-

cubre $\lambda_{cd}(D)$, $0 \leq t_d < 40$.

ts = tiempo disponible en años entre el momento del descubrimiento y la terminación de las acciones correctivas.

Desarrollando las hipótesis de Rowsome se deduce que el tiempo disponible para tomar las acciones correctivas, una vez que se ha descubierto una deficiencia con frecuencia $\lambda_{cd}(D)$, es:

$$ts \leq -\ln(0,999)/\lambda_{cd}(D)$$

Dibujando ts frente a $\lambda_{cd}(D)$ según la figura 1, se deduce:

	Tiempo para acción correctiva
$\lambda_{cd}(D) = 10^{-4}/R-A$	$ts \leq 10$ años
$\lambda_{cd}(D) = 10^{-3}/R-A$	$ts \leq 1$ año
$\lambda_{cd}(D) = 10^{-2}/R-A$	$ts \leq 0,1$ año

Si el valor de la frecuencia descubierta es menor o igual a $2,5 \times 10^{-5}/R-A$, el tiempo disponible para hacer las correcciones excede los 40 años de vida de servicio de la central. Por lo tanto, $\lambda_{cd}(D) = 2,5 \times 10^{-5}$ es la frecuencia descubierta mínima que requeriría acciones correctivas. Este valor umbral de $\lambda_{cd}(D) = 2,5 \times 10^{-5}/R-A$ aplica cuando el descubrimiento se hace al principio de la vida. Si el descubrimiento se hace en cualquier otro momento de la vida de servicio de la central, entonces el valor umbral será más alto. Esto se puede observar en la figura 2, de donde se deduce que una planta que tenga una frecuencia estimada de $\lambda_{cd}(D) = 2 \times 10^{-4}/R-A$ a los 35 años de vida de servicio no requiere ya ninguna modificación, comparado con el valor estimado de $\lambda_{cd}(D) = 2,5 \times 10^{-5}/R-A$ al principio de vida.

Se ha dicho anteriormente que el objetivo a corto plazo ($\lambda_{cd}(G)$) está implícito en las hipótesis de Rowsome, ya que se afirma que se puede aceptar una frecuencia de un accidente significativo de una central hasta de un 0,2 % en el intervalo de tiempo entre la ejecución de una modificación a corto plazo y el final de la vida de la central. Matemáticamente se puede expresar de la siguiente forma:

$$cd(G) \leq -\ln(0,998)/[40 - (td + ts)]$$

Donde:

ts = tiempo permitido para acciones correctivas.

$$= -\ln(0,999)/\lambda_{cd}(D)$$

(Suponiendo que no se define ningún nuevo objetivo distinto de $\lambda_{cd}(G)$, una

vez que se han ejecutado las acciones correctivas).

Las figuras 1, 2 y 3 se pueden utilizar para determinar si se requiere o no una modificación a corto plazo; si esto es así, permiten definir el objetivo a corto plazo y el tiempo permitido para alcanzar este objetivo. Consideremos, como ejemplo, que se descubre un $\lambda_{cd}(D) = 10^{-4}/R-A$ al principio de la vida de la central ($td = 0$ años). De la figura 2 se observa que se requiere una modificación a corto plazo; de las figuras 1 y 3 se determina que el tiempo permitido para la corrección es de 10 años dentro del cual la frecuencia de accidentes significativos se reduce de $10^{-4}/R-A$ a $6 \times 10^{-5}/R-A$. Por el contrario, si el descubrimiento se hace a los 10 años de operación en vez de al principio, el objetivo a corto plazo es $10^{-4}/R-A$ que es el mismo valor que el valor descubierto de la frecuencia. Si el descubrimiento se retrasa 20 años, el objetivo llega a ser de $2 \times 10^{-4}/R-A$, que es un factor 2 veces superior al valor descubierto al principio. Por lo tanto, de estos ejemplos, parece deducirse que las hipótesis de Rowsome dan resultados anómalos si se usan para determinar simultáneamente los objetivos a corto plazo y el tiempo disponible para tomar las acciones correctivas.

Gestión de los objetivos de seguridad

Es interesante comentar cómo se han gestado estos objetivos de seguridad. Por de pronto no han sido dictados por la N.R.C., sino que han sufrido fruto de gran debate público, en el que han intervenido:

a) Organizaciones de reconocido prestigio técnico en el campo nuclear, como el Atomic Industrial Forum (A.I.F.), el Advisory Committee on Reactor Safeguards (A.C.R.S.), etc.

b) Personalidades de renombre en la industria nuclear, como Zebroski (E.P.R.I.), Wall (A.C.R.S.), etc.

c) Laboratorios nacionales (por ejemplo, Brookhaven National Laboratory, B.N.L.) contratados por la Office of Policy Evaluation de la U.S. N.R.C.

d) La propia U.S. N.R.C., a través de la Office of Policy Evaluation.

e) Dos seminarios celebrados con intervención de expertos en diversas disciplinas, no solamente en el campo nuclear, con especialistas en psicología, sociología, toma de decisiones en armamentos, etc.

f) El público en general, a través del período de comentarios de 3 meses

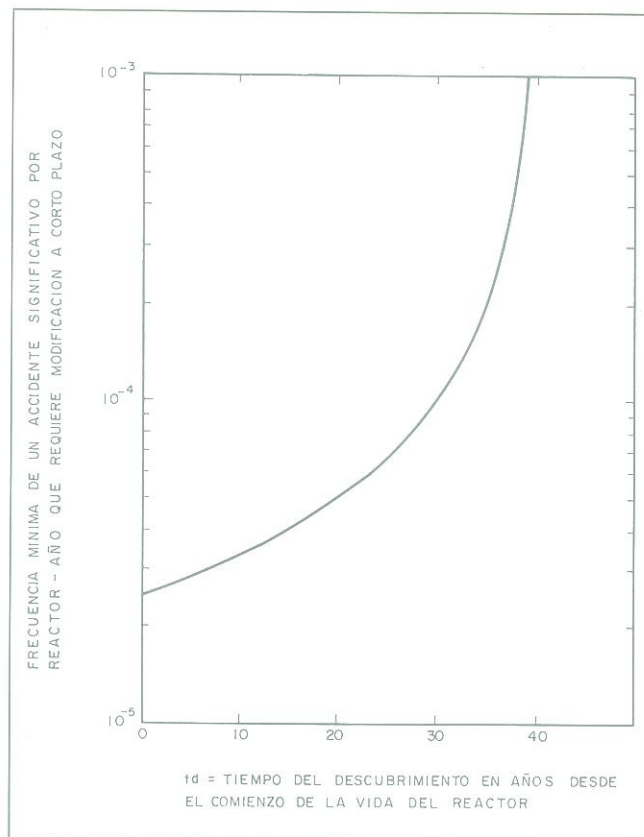


Fig. 2
Valor descubierto mínimo de la frecuencia de un accidente significativo que requiere modificación a corto plazo como función del momento del descubrimiento.

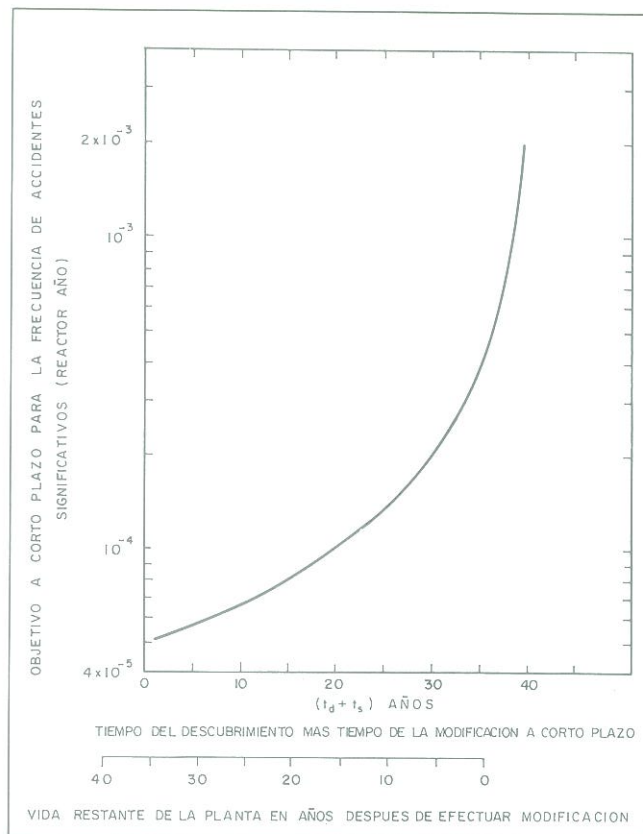


Fig. 3
Objetivo deducido de modificaciones a corto plazo para la frecuencia de accidentes significativos como una función de la suma del tiempo del descubrimiento y el tiempo permitido para realizar una modificación a corto plazo.

abierto a raíz de la publicación de los objetivos de seguridad propuestos.

Como índice del interés despertado por este debate hay que destacar una serie de jornadas de comentarios organizados en diversas ciudades de EE.UU. por la Liga de Mujeres Votantes.

Como se puede observar, la participación del público en la redacción de los objetivos de seguridad es muy amplia, y trasciende a los órganos técnicos de la Administración y Cámara Legislativa.

Finalmente vale la pena comentar la propia publicación de dichos objetivos, que viene acompañada por los puntos de vista discrepantes de los comisionados Bradford y Gilinsky.

Bradford se queja de que la declaración de los objetivos de seguridad no indica el número de muertes deducibles de la aplicación de dichos objetivos durante la vida de operación de los 150 reactores, actualmente en operación o en proceso de licencia en EE.UU.

El comisionado Gilinsky, además de respaldar el comentario de Bradford, hace una crítica en mi opinión acertada. Gilinsky pone en tela de juicio la utilidad de los objetivos de seguridad propuestos para resolver los dilemas diarios con los que se enfrenta el proyectista, el fabricante y el operador. ¿Cómo van a servir los objetivos propuestos para determinar hasta qué grado es necesaria la cualificación ambiental del equipo,

hasta qué punto se precisa protección contra incendios, o seguridad industrial?

Según Gilinsky, la seguridad sólo se consigue abordando adecuadamente los principios de: redundancia y diversidad de medidas de protección contra el daño al núcleo, integridad de la contención, distancia suficiente de los núcleos de población, planes de emergencia, etc. El tratamiento individual y exhaustivo de estos principios es la mejor garantía de la seguridad de las centrales nucleares. En opinión de Gilinsky, no es éste el camino adoptado por la N.R.C.

Conclusiones

De todo lo expuesto hasta aquí se pueden sacar algunas conclusiones:

La N.R.C. está firmemente decidida a fijar unos objetivos de seguridad.

El disponer de unos objetivos de seguridad responde a un anhelo humano de hacer planteamientos racionales y saber a dónde se va, respondiendo a la pregunta: ¿Cuán seguro es bastante seguro?

Los objetivos de seguridad están lejos de ser de utilidad para la toma de decisiones diarias sobre acciones correctivas, aunque puedan ser de ayuda para grandes temas genéricos: A.T.W.S., Generación de H₂, etc.

Los objetivos de seguridad constituirán el empujón definitivo de las técnicas

del P.R.A. (evaluación del riesgo mediante probabilidades).

Las técnicas del P.R.A. serán complementarias, no sustitutivas, del buen juicio técnico a la hora de aplicar el concepto, cada vez más importante, de defensa en profundidad.

REFERENCIAS

1. **Proposed Policy Statement on Safety Goals for Nuclear Power Plants**, Public announcement, February 12, 1982.
2. **A Study of the Implications of Applying Quantitative Risk Criteria in the Licensing of Nuclear Power Plants in the United States**, NUREG/CR-2040, May 1981.
3. **An Approach to Quantitative Safety Goals for Nuclear Power Plants**, NUREG-0739, October 1980.
4. **Toward a Safety Goal: Discussion of Preliminary Policy Considerations**, NUREG-0764, March 1981.
5. **Documents Referred to in NUREG-0735. Note to Lynn Scattolini**, SECY from John Larkins A.R.C.S. (N.R.C.), December 8, 1980.
6. **Quantitative Safety Goals for the Regulatory Process**, V. Jocksimovic and L.F.O'Donnell, October 1, 1980.
7. **A Proposed National Nuclear Safety Goal**, Edwin L. Zebroski, E.P.R.I., March 24, 1980.
8. **Workshop on a Proposed Safety Goal**, NUREG/CP-0020, September 1981.