

FIGURA 2. Etapas básicas en el análisis de las consecuencias de los accidentes.

como relativas a la fase final de la emergencia.

A la vista de los casos presentados en las líneas precedentes, estimamos la **necesidad de desarrollar unos criterios claros de actuación en la post-emergencia**. En especial, la **fijación de los correspondientes niveles de referencia de dosis**. También sería interesante fijar, mediante la aplicación de los modelos adecuados a las características, hábitos y costumbres de la población española, los niveles derivados de concentraciones isotópicas o globales en las distintas vías de exposición, que pueden simplificar su aplicación en caso necesario.

Si la autoridad estableciese únicamente los límites de referencia de dosis, sería necesario relacionar éstos con los límites físicos de las zonas contaminadas, transformando los niveles de dosis en niveles de contaminación equivalente, medibles en el plan de vigilancia radiológica. Transformación que se llevaría a cabo con los modelos de cálculo adecuados. En este caso **es deseable que los organismos reguladores propongan el modelo a seguir**, o bien homologuen los modelos aplicables. Ello evitará conflictos de interpretación de los datos o de aceptación de las medidas que se derivarán de los mismos.

De cualquier forma, **no debe perderse de vista el importante factor económico-social del problema**, y su consideración mediante los oportunos análisis costo-beneficio, de los que seguidamente nos ocupamos.

Relaciones costo-beneficio en la adopción de medidas de protección

Según se ha comentado previamente, el interés del análisis costo-beneficio es doble: por un lado, será muy importante a la hora de definir las medidas de protección, permitiendo evaluar la eficacia de unas medidas frente a otras. Por otro lado, servirá de ayuda al establecimiento de niveles de referencia de dosis.

Para realizar estos análisis, nuevamente se habrá de contar con los modelos de cálculo adecuados, que ahora deberán incluir además de la relación dosis crónica-nivel de contaminación, otras relaciones nivel de contaminación-área afectada (coste económico) y nivel de contaminación-población afectada (coste radiológico).

A este fin resultan de especial interés los modelos de aplicación en los Análisis Probabilísticos del Riesgo (PRA) en su nivel III, dedicados a la estimación de las consecuencias de los accidentes, tanto radiológicas como económicas, en función de las frecuencias de aparición estimadas de las distintas secuencias posibles. El primer modelo de cálculo empleado en esta nueva metodología fue el código CRAC, desarrollado para el Reactor Safety Study (ref.3). Hoy en día, hay modelos más avanzados que el primitivo, tanto en los EUA como en otros varios países, a los que no podemos dedicar espacio en esta presentación, pero que básicamente siguen todos el esquema planteado en la figura 2 con mayor o menor sofisticación en cada sub-modelo. Tal vez el más popular, de entre ellos —dado su carácter público—, sea el código CRAC2 (3).

Con dicho código se ha evaluado el efecto de diferentes niveles de referencia en cuanto a las dosis crónicas externas, al cuerpo entero y durante 30 años, sobre las consecuencias finales del accidente. Se ha elegido esta vía de exposición por ser la que resulta limitativa a la hora de efectuar la descontaminación o expropiación de áreas contaminadas que —tal y como se ha demostrado en numerosos estudios— suelen ser, para escapes de cierta magnitud, las medidas de protección con mayor coste asociado.

El estudio se ha realizado para un emplazamiento muy densamente poblado, en el que se supone un escape SSTI (según terminología de la NRC correspondiente a un accidente con fusión del núcleo, pérdida de todas las salvaguardias tecnológicas y rotura de la contención). Los resultados se resumen en las tres figuras 3A, B y C, en donde se relacionan los niveles de dosis con la magnitud en el número medio de víctimas de cáncer que cabría esperar por efecto del accidente, la distancia media de confiscación de tierras y el área media de tierra confiscada.

Se observa que el coste radiológico del accidente depende casi linealmente del valor de referencia adoptado, si bien no llega a anularse, dado que siempre habrá víctimas por causa de la exposición temporal inicial. Por su parte, cosa lógica, la distancia de confiscación crece enormemente al hacerse más estrictos los límites impuestos. Con ella, y a mayor velocidad como era de esperar, crece también el área de tierra confiscada, que será proporcional al coste de la medida, alcanzando ambas límites inabundables en la práctica (nivel de dosis cero).

A la vista de lo anterior, resulta claro que los análisis de consecuencias pueden ser de gran utilidad en la planificación de las medidas de protección en la post-emergencia, y que pueden servir de importante apoyo para una eficaz toma de decisiones.

Pero la planificación de la post-emergencia debe completarse con una previsión, lo más detallada posible, de las tareas que habrán de acometerse para la recuperación de las zonas cuya contaminación supere los niveles aceptables.

Las medidas de descontaminación

En el caso de que los niveles de contaminación resulten inaceptables, será necesario estudiar las medidas a adoptar, que siempre estarán precedidas del traslado de la población. La descontaminación será adoptada con preferencia sobre la expropiación y control de las áreas más contaminadas, puesto que producirá menor perturbación en la sociedad, dado su carácter limitado en el tiempo. No obstante, en determinados casos, su realización efectiva hasta los límites necesarios puede resultar muy costosa, resultando inabordable en la práctica.

Resulta, por consiguiente, necesario disponer de los suficientes elementos de análisis tecnológico y económico sobre las medidas de descontaminación aplicables. En este sentido, en los países más avanzados se ha desarrollado una tecnología de la descontaminación, cuyo coste económico ha sido también evaluado. Resulta destacable el esfuerzo realizado en los EUA y en los países de la CEE.

No pueden desconocerse las repercusiones socio-económicas de un accidente a largo plazo

Asimismo, es muy interesante la actual experiencia soviética en el entorno de la central de Chernobyl. Se ha observado que la situación radiológica de la zona continúa evolucionando, en particular en los puntos con mayores gradientes de contaminación, y que podrá tardar incluso hasta uno o dos años en estabilizarse. Por ello, en las zonas de explotación agrícola, se está procediendo a la adopción de diferentes medidas, según el nivel de contaminación, entre las que se incluyen: a) la aplicación de agentes fijadores de las partículas contaminantes, y posterior retirada de la cubierta superficial; b) cambios en los métodos tradicionales de tratamiento del suelo, en particular mediante el uso de compuestos supresores del polvo y la adición de fertilizantes y absorbentes que reduzcan la incorporación de radionucleidos a la masa vegetal; c) cambios en los métodos de recolección y procesado de las cosechas, dando preferencia a los cultivos de utilización industrial o ganadera sobre los destinados al consumo humano. En las zonas urba-

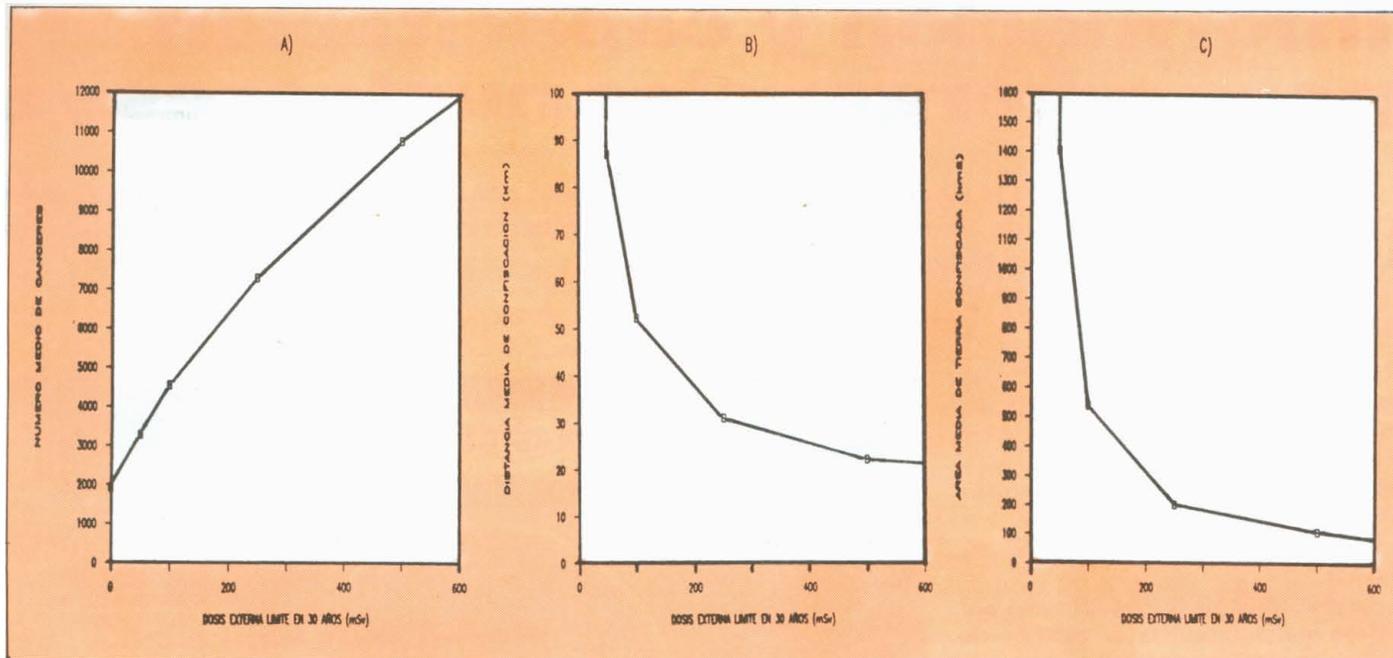


FIGURA 3. Efecto del nivel de referencia en la dosis externa (mSv) sobre: a) el número medio de cánceres; b) la distancia media de confiscación de tierras (km.), y c) el área media de tierra confiscada (km²). Estimación realizada con el código CRAC2.

nas, la descontaminación se está llevando a cabo mediante el lavado de los edificios con soluciones descontaminantes.

Todas estas tareas suponen inmediatamente tanto la generación de residuos radiactivos, como el trabajo con radiaciones del personal implicado en las mismas. La gestión de los primeros requiere una planificación previa por los organismos responsables, mientras que el segundo caso exige la aplicación de las normas de radioprotección vigentes, con el asesoramiento de las autoridades competentes en el tema.

En España no se han hecho públicos trabajos sobre este aspecto, con excepción de un trabajo realizado por la Cátedra de Tecnología Nuclear de la UPM referente a la central nuclear de Ascó, a petición de la Consejería de Industria y Energía de la Generalitat de Catalunya, y otro realizado por INYPSA, bajo la dirección de dicha Cátedra, sobre cuatro emplazamientos españoles e incluido entre los trabajos del PEN-83.

La tecnología de la descontaminación es compatible con el nivel industrial y nuclear del país. Su desarrollo y demostración no resultarían onerosas desde el punto de vista económico. Por ello, estimamos que las autoridades responsables deberían mostrarse decididas a la hora de propiciar ambos.

Resumen y conclusiones

La exposición realizada puede resumirse en las conclusiones que siguen:

PRIMERA.—Sobre la vigilancia radiológica en la post-emergencia. En la fase de post-emergencia tras un accidente con liberación de productos radiactivos al medio ambiente habrán de establecerse los programas adecuados de mediciones de actividad en aire, terreno, agua, flora y fauna de las zonas potencialmente afectadas. Todo ello requerirá la intervención de instituciones asesoras competentes que utilicen instrumental y pro-

cedimientos homologados y aprobados por el organismo regulador.

SEGUNDA.—Sobre la evaluación de las mediciones realizadas por el programa de vigilancia radiológica. Las medidas de actividad señaladas en el punto anterior han de evaluarse a través de los modelos dosimétricos adecuados para cada vía de exposición. Estos modelos de cálculo deberían ser previamente propuestos u homologados por el organismo regulador. Los modelos servirán para estimar las dosis recibidas a largo plazo, y de ahí los efectos que tales dosis pudieran tener sobre la salud de las personas.

TERCERA.—Sobre la adopción de medidas de protección a largo plazo en base a unos niveles de referencia. La autoridad debe decidir, a la vista de los datos y evaluaciones dosimétricas resultantes del programa de vigilancia radiológica, la implantación de medidas de protección, tales como el traslado de la población, la descontaminación de suelos y propiedades y las restricciones en el uso de la tierra o el consumo de alimentos. Para su adopción deberán fijarse previamente unos niveles de referencia de dosis a largo plazo que, garantizando hasta niveles razonables la seguridad de la población, no supongan un detrimento desmesurado en la actividad socioeconómica de las áreas afectadas.

CUARTA.—Sobre el análisis costo-beneficio de las medidas de protección. La realización de análisis costo-beneficio relativos a las medidas de protección postaccidente requiere disponer de modelos adecuados que integren a la vez el cálculo de las dosis recibidas por la población y los daños causados sobre la misma, con el efecto de las medidas adoptadas, en base a los correspondientes niveles de referencia, que podrán establecerse tras el análisis. Los modelos de cálculo de las consecuencias de los accidentes empleados habitualmente en el análisis

probabilístico del riesgo (PRA) son especialmente útiles a este respecto.

QUINTA.—Sobre las medidas de descontaminación. El coste de la descontaminación puede ser el más cuantioso entre los producidos por las medidas de protección. La puesta a punto de la tecnología necesaria, así como de las herramientas de cálculo para su valoración económica, ha de ocupar un lugar destacado en la planificación de la post-emergencia.

SEXTA.—Sobre la planificación de la post-emergencia. A la vista de todo lo expuesto anteriormente, y tras la situación creada por el accidente de Chernobyl, resulta necesario completar los planes de emergencia incluyendo la fase de post-emergencia en los mismos. Los aspectos que deben abordarse en dicha planificación deben ir desde la vigilancia radiológica hasta la recuperación de la normalidad en las zonas afectadas, estableciendo los apropiados criterios que faciliten su implementación por las instituciones responsables.

Agustín ALONSO
Eduardo GALLEGO
Cátedra de Tecnología Nuclear
Universidad Politécnica de Madrid

NOTAS

- (1) ALONSO, A.: *La Conferencia Internacional de Viena sobre el accidente de Chernobyl*. DTN-3-86. Cátedra de Tecnología Nuclear. ETSII. Madrid, 1986.
- (2) Dirección General de Protección Civil: *Plan básico de emergencia nuclear (borrador)*. Madrid, 1985.
- (3) RITCHIE, L. T., y otros: *Calculation of Reactor Accident Consequences, Version 2. CRAC2 Computer Code*. NUREG/CR-2324 (SAND81-1994). U. S. Nuclear Regulatory Commission. 1981.