



APROXIMACIÓN CONCEPTUAL Y FUNCIONAL AL DISEÑO DE ESTRATEGIAS OPTIMIZADAS DE INTERVENCIÓN PARA LA RESTAURACIÓN AMBIENTAL TRAS ACCIDENTE NUCLEAR GRAVE

C. Vázquez, J. Gutiérrez. CIEMAT. Avenida Complutense 22, 28040 Madrid. España

Resumen

El presente trabajo constituye una aproximación a los criterios que pueden utilizarse en el establecimiento de metodologías de optimización de estrategias de intervención para la recuperación ambiental tras accidente, problema complejo, aún no bien resuelto ni conceptual ni funcionalmente. En este sentido la ponencia resume los desarrollos, sobre este tema, que el Programa de Protección Radiológica por Intervención del CIEMAT está realizando dentro de sus proyectos de investigación en curso.

1. INTRODUCCION

Un accidente nuclear con repercusión ambiental produce, entre otras consecuencias, un incremento del riesgo radiológico que, en muchos casos, si no se tomaran decisiones inmediatas podría ser inaceptable para la salud de la población a corto, medio y largo plazo. Estas decisiones inmediatas se refieren, en general, a restricciones de permanencia de las personas en determinados lugares, o del consumo de los alimentos allí producidos, aunque también pueden consistir en la aplicación de cualquier otro procedimiento de reducción de dosis, como la retirada de la contaminación o su emplazamiento de un modo más conveniente. En todo caso la intervención inmediata tratará de establecer controles e introducir barreras entre la contaminación y la población a lo largo de un determinado periodo de tiempo.

Si en el accidente se han liberado radionucleidos de vida larga, la prolongación en el tiempo de estas decisiones inmediatas puede resultar excesivamente costosa para la sociedad, lo que lleva a plantearse la cuestión de una intervención para la restauración ambiental de los entornos contaminados. Tal intervención debe estar sujeta, obviamente, a los principios generales de Protección Radiológica, por lo que deberá estar justificada (de modo que proporcione más beneficios que perjuicios) y optimizada (la forma, escala y duración de la misma se dirigirán a maximizar el beneficio neto).

El establecimiento de metodologías para la optimización de estrategias en este tipo de intervenciones se dirige, por tanto, al análisis de las opciones de actuación existentes que sean aplicables y a la identificación de las que pudieran paliar mejor los efectos negativos de la situación de restricción y control, reduciendo el riesgo radiológico remanente tras las decisiones inmediatas, con el menor costo social. El análisis de algunas de las consecuencias que podrían derivarse de estas intervenciones puede ser muy complejo. Tal es el caso, por ejemplo, de los posibles impactos sobre el bienestar social y/o el mercado interior y exterior, los efectos secundarios sobre el medio ambiente, las consecuencias políticas de una decisión, etc. Todas estas consideraciones sobrepasan ampliamente el ámbito de la protección radiológica, por lo que el análisis que se presenta aquí toma en consideración únicamente costos, reducción de riesgo radiológico, y efectos sobre el rendimiento y calidad de los productos.

2. DESARROLLO CONCEPTUAL

El resultado ideal tras la restauración ambiental sería la eliminación de cualquier barrera artificial o control administrativo preexistente, garantizando que el riesgo radiológico residual fuese suficientemente bajo como para que la población pudiera vivir, en el futuro, sin que el accidente representase ya ninguna restricción de comportamiento. La contaminación residual entonces se podría considerar incluida en el fondo natural.

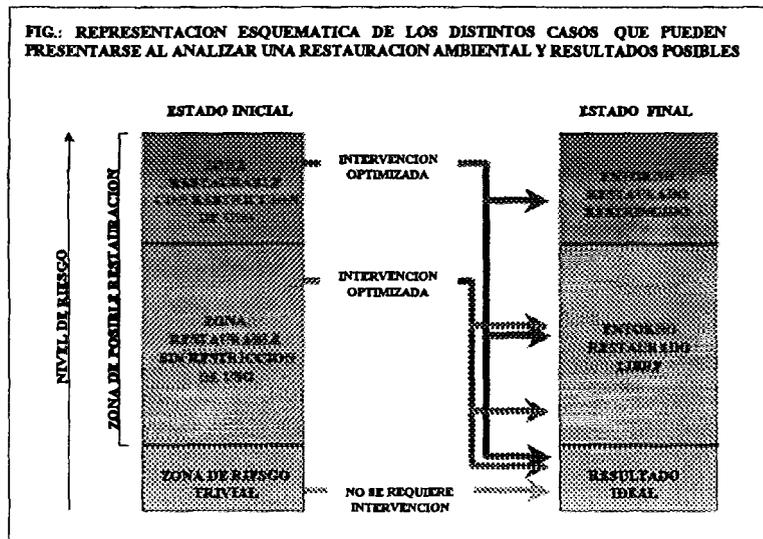
Cuando se presenta un caso de restauración ambiental, se supone que el riesgo individual de la población está ya controlado por los niveles de intervención preexistentes. Durante la optimización, normalmente, se manejarán dosis suficientemente bajas como para que se les pueda aplicar la condición de linealidad dosis respuesta. Bajo esta perspectiva, la dosis colectiva evitada se considera una magnitud adecuada para valorar la reducción del riesgo radiológico.

Consideraciones de equidad en la distribución del riesgo podrían dar preferencia a dosis bajas sobre mayores grupos de población frente a dosis relativamente más altas sobre un grupo de personas más reducido. El mismo tipo de consideraciones tendería a valorar más la dosis que recibirían las poblaciones no directamente beneficiadas por la práctica responsable del accidente frente a la dosis sobre el resto de la población. En esta aproximación, no se toman en cuenta estos matices y se valora de igual modo la dosis que pudiera impartirse a través de la cadena alimentaria, que el mercado distribuirá entre un grupo de población muy amplio, y la dosis que un reducido grupo de individuos pueda recibir por irradiación externa desde un entorno urbano contaminado. En cuanto a la distribución de la dosis colectiva a lo largo del tiempo, se considera más adecuado no aplicar ningún factor de descuento sobre las dosis futuras.

La optimización de una intervención, maximizando el beneficio neto, puede conducir a algunas situaciones pintorescas como se ilustra en el siguiente caso hipotético: Tras el análisis, una determinada contramedida agroquímica resulta seleccionada por representar el máximo beneficio neto. Es moderadamente efectiva en cuanto a la reducción de la transferencia de contaminación a los cultivos, es barata, no genera residuos y además aumenta considerablemente el rendimiento de producción sin otros efectos secundarios negativos. En estas circunstancias, la contramedida optimizada podría incluso llegar a producir un aumento de dosis colectiva, resultado que no es en absoluto aceptable. Parece por tanto razonable exigir que en el proceso de optimización se introduzca algún requisito que garantice una reducción de riesgo radiológico de al menos un determinado porcentaje, lo que también contribuye a que los resultados de la decisión se vean menos afectados por las incertidumbres asociadas a los modelos de predicción.

Por otro lado, ni la justificación ni la optimización de la intervención garantizan que la opción seleccionada reduzca el nivel de dosis residual a un valor suficientemente bajo para alcanzar la situación de restauración ideal que, como se ha visto anteriormente, sería el nivel más parecido posible al estado previo al accidente. Esto podría valorarse comparando la tasa de dosis residual con las tasas de dosis que la población recibía antes del accidente o, de modo más sencillo, comparando el incremento de dosis con lo que habitualmente se considera como un riesgo trivial en la mayor parte de los casos. Estos conceptos de trivialidad se han tenido en cuenta en la elaboración de criterios de exención⁽¹⁾. El OIEA en sus BSS

especifica $10\mu\text{Sv}$ o $1\text{ mSv}\cdot\text{persona}$ respectivamente como valor de dosis individual y de dosis colectiva anuales para la exención de prácticas y fuentes.



para un determinado escenario de contaminación superan los niveles de restricción de uso el escenario se considerará previamente restringido. En este caso la optimización de la intervención valorará el beneficio neto de la intervención frente a la situación de restricción previa. De no existir ninguna opción de restauración capaz de reducir los niveles por debajo de los de restricción, el escenario ya "intervenido" deberá seguir sometido a vigilancia y control.

Como referencia inferior se consideran las tasas de dosis antes indicadas para la exención. Si el incremento de dosis individual, debida a la contaminación existente en el escenario a restaurar, es inferior a $10\mu\text{Sv}$, a través de todas las vías posibles, el escenario se considera ya libre de toda restricción, no siendo necesario analizar la conveniencia de ningún tipo de actuación. En caso contrario se efectúa un análisis

de decisión multiatributo para determinar las opciones óptimas y obtener la mejor estrategia de intervención. El resultado de aplicar dicha estrategia conducirá a un escenario restaurado al nivel de la capacidad técnica existente en el momento y, normalmente, deberían aceptarse los valores residuales para mantener un modo de vida normal.

Podría darse el caso en que, bajo otra perspectiva diferente a la que ha servido de base para este análisis anterior, otras opciones de descontaminación pasaran a ser las óptimas si se tomaran en consideración uno o más nuevos criterios de evaluación (social, político...). En general, la valoración de estos últimos se realizaría añadiendo el "juicio de experto" del responsable de la toma de decisión sobre el análisis previo realizado.

3. DESARROLLO FUNCIONAL

La ejecución de esta, en principio, simple aproximación filosófica, requiere una fuerte complejidad técnica. La evaluación de la respuesta de una determinada opción de intervención, sobre un escenario de contaminación específico, ha de partir del impacto desde la fecha prevista para la intervención, en caso de que ésta no se llevase a cabo. Esto es, ha de evaluarse, a partir de esta fecha, la dosis a la población, a través de todas las potenciales vías de exposición y, en caso de tratarse de un escenario bajo restricción de uso, el coste de garantizar el cumplimiento de tal restricción. Esta evaluación proporcionará una idea de hasta que punto es importante tratar de restaurar el entorno.

Una vez conocido el impacto radiológico procedente del escenario contaminado bajo estudio, la etapa siguiente es valorar la aplicabilidad, en ese escenario concreto, de las distintas opciones de descontaminación existentes (entendiendo descontaminación como sinónimo de reducción de dosis) y los beneficios y daños que se derivarían de tales actuaciones.

En general, los escenarios de contaminación pueden ser muy complejos (conteniendo incluso ecosistemas diferentes) y no hay soluciones universalmente aplicables. Los modelos requeridos para la determinación de los flujos de contaminación a lo largo del tiempo tampoco son de aplicación general sino que dependen de otra serie de características locales. Estas realidades conducen a la necesidad de descomponer los escenarios de contaminación hasta un punto en el que ya sean factibles las evaluaciones del impacto y de la aplicabilidad de opciones de descontaminación, utilizando un modelo único de comportamiento.

La aproximación adoptada consiste en analizar en profundidad los mecanismos responsables de los flujos de los radionucleidos hasta la población a través de todas las posibles vías de exposición (transferencias en entornos urbanos, suelos, cultivos, ganado, industria alimentaria, otros procesos industriales, sistemas seminaturales: pastos, bosques, matorral, etc.), y los modelos de evaluación disponibles. Este análisis permitirá dividir los distintos entornos en una serie de **componentes** caracterizados por determinados atributos responsables del comportamiento de los diferentes radionucleidos contaminantes. Cualquier escenario contaminado puede de este modo representarse por valores específicos para cada uno de los **atributos de los componentes** que lo integran, permitiendo así la aplicación de modelos adecuados de cálculo de impacto.

No todos los componentes, según acaban de definirse, pueden descontaminarse del mismo modo, con resultados idénticos, lo que justifica, en la aproximación adoptada, un nuevo desglose en diferentes **elementos de intervención** sobre los que el resultado de una contramedida debe quedar perfectamente determinado.

La evaluación de una contramedida puede a su vez realizarse identificando en ella atributos que reflejen aspectos de su comportamiento. Algunos de estos atributos dependen de ciertas características del componente sobre el que vayan a aplicarse, otros dependen sólo de la contramedida en sí y otros dependen, además, de factores externos. Todos ellos podrán, finalmente, valorarse y ponderarse adecuadamente por un sistema de decisión estándar, que clasificará opciones de acuerdo con los factores de ponderación y restricciones que se introduzcan.

4. APLICACIONES Y DESARROLLO FUTUROS

La metodología que ha sido expuesta en este trabajo ha constituido la base de la participación CIEMAT en uno de los proyectos multinacionales de colaboración sobre las consecuencias del accidente de Chernobyl (CHECIR, ECP-4 "Strategies of Decontamination") donde ha sido aplicada⁽²⁾,⁽³⁾,⁽⁴⁾.

Actualmente se está tratando de ampliar la aplicación de esta metodología de modo que permita dar respuesta a un conjunto de escenarios potenciales de contaminación diferentes a aquellos sobre los que se haya hecho experimentación directa. Este proceso requiere una serie de extrapolaciones sobre cada uno de los parámetros de comportamiento (atributos) representativos de cada componente específico y utilizar métodos estocásticos para inferir la calidad de la respuesta dentro de determinados rangos de variabilidad de cada uno de los atributos, tratando de mantener una fiabilidad de resultados aceptable. De este modo se pretende obtener un conjunto de **componentes genéricos** utilizables para representar escenarios de contaminación diferentes a aquellos sobre los que se hayan obtenido datos experimentales.

La capacidad de elaboración de componentes genéricos adecuados depende básicamente del grado de conocimiento sobre los mecanismos de comportamiento de los radionucleidos en el medio ambiente y de la calidad de los modelos matemáticos disponibles para representar estos mecanismos.

Los trabajos que se realizan actualmente en este sentido siguen dos frentes convergentes. Por una parte, se está coordinando un proyecto multinacional dentro del Programa Específico de Seguridad de la Fisión Nuclear (4º Programa Marco de la UE), que cuenta, además, con financiación de CSN y ENRESA a través de sus respectivos Planes de Investigación. El proyecto, "Techniques and management strategies for environmental restoration" (TEMAS), trata de identificar cuantos escenarios específicos adecuadamente caracterizados puedan existir, a fin de obtener una serie de componentes genéricos representativos de la realidad de la comunidad europea. Por otro lado, otro proyecto, "Vulnerabilidad radiológica de los suelos españoles", trata de establecer una caracterización edafológica y agronómica de los suelos españoles que permita, en el futuro, la evaluación teórica del comportamiento de radionucleidos que pudieran depositarse accidentalmente sobre el suelo español. Este proyecto cuenta, asimismo con el soporte económico de CSN y ENRESA.

REFERENCIAS

1. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series 115.(1996)
2. C. VÁZQUEZ, C. TRUEBA, M. SAVKIN, J. GUTIÉRREZ. "Optimisation of Intervention Strategies for the Recovery of radiactively contaminated environments. Application to two case studies: Savichi and Kirov (Belarus)".CIEMAT/IMA/52F21/03-95. (1996)
3. C. VÁZQUEZ, J GUTIÉRREZ, C. TRUEBA, M. SAVKIN. "CEC-CHECIR ECP4 optimization of intervention strategies for the recovery of radioactive contaminated environments".EUR 16544, (1996) 495-498.
4. "Strategies of decontamination. Final Report", editors P.Hubert, L Annisomova, G. Antsipov. V Ramsaev, V. Sobotovitch. EUR 16530. (1996)