

MÓDULO 9:

SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIÓN

- 9.1 APOYO A LA DECISIÓN PARA LA GESTIÓN DE LA EMERGENCIA EXTERIOR EN UN ACCIDENTE NUCLEAR**
- 9.2 EQUIPO, INSTALACIONES Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA EL APOYO A LA TOMA DE DECISIÓN**
- 9.3 EJEMPLOS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIÓN PARA ACCIONES PROTECTORAS**

Profesor: Dña. Milagros Montero Prieto

CIEMAT

9.1. APOYO A LA DECISIÓN PARA LA GESTIÓN DE LA EMERGENCIA EXTERIOR EN UN ACCIDENTE NUCLEAR.

Objetivos

Proporcionar una panorámica del apoyo a la toma de las decisiones y su aplicación en la gestión de la emergencia y en la planificación de las contramedidas con el fin de mitigar las consecuencias de un accidente nuclear.

Contenidos

- Sistemas de apoyo a la decisión en el marco comunitario
- Análisis de decisión y su aplicación en la gestión de emergencias nucleares
- Técnicas de análisis de decisión: software web-hipre
- Decisiones de grupo y talleres orientados a la decisión

9.1.1. SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN EN EL MARCO COMUNITARIO

La filosofía de la protección en situaciones de intervención que se ha ido perfilando en capítulos anteriores se puede resumir en un proceso de dos pasos, compatible con los principios fundamentales de la protección radiológica y factible a la hora de ejecutarlo:

1. La identificación de los requisitos principales para la intervención se ejecuta sobre la base de los Niveles de Acción. Éstos se definen en términos de la dosis individual para el grupo crítico en cada una de las zonas afectadas por encima de la que, normalmente, no se requiere ninguna actuación de remediación. Basándose en estos niveles de acción, se pueden excluir de posteriores consideraciones aquellas zonas que no imponen un impacto radiológico significativo sobre cualquier grupo crítico y, por definición, sobre la población en general.
2. A continuación, y sobre las zonas no excluidas, se realizarán detalladas evaluaciones de la distribución de dosis entre la población y de las posibles opciones para reducirla. Todas las decisiones que se tomen se basarán, en este paso, en el principio de optimización.

Los procesos de evaluación, decisión e intervención tienen que aplicarse durante las distintas fases consecutivas de la respuesta a la emergencia. Hay actuaciones que se pueden aplicar antes de cualquier liberación como medidas preventivas, mientras que las acciones posteriores dependerán en gran medida de las condiciones ambientales y del tiempo transcurrido desde el inicio del evento, pudiendo consistir en medidas mitigativas o de restauración.

El proceso de evaluación implica determinar la situación radiológica actual y futura, basada en la información recabada sobre el término fuente y el medio ambiente a escala local. Posteriormente, para valorar la necesidad de acciones protectoras y contramedidas, se emplean los criterios de intervención. Como hemos visto antes, hay niveles de intervención formulados bien para las dosis de radiación o bien para las concentraciones de actividad. Las isólineas definidas sobre la base de estos niveles de acción permitirán identificar aquellas áreas donde deben aplicarse las contramedidas. La combinación de las acciones individuales que puedan ser tomadas en un lugar o momento determinado conducirán a una variedad de alternativas o posibles escenarios de intervención. Cuando se decide la ejecución de estas medidas, intervienen las opiniones de los expertos de todas las instituciones y autoridades involucradas que valoran y sopesan todos los factores que influyen en cada alternativa para obtener la mejor protección de la población. El proceso de toma de decisión da lugar al establecimiento de una determinada estrategia en la que las diferentes acciones se disponen temporal y espacialmente de una manera específica.

Desde el punto de vista científico y técnico, hay una serie de herramientas disponibles denominadas Sistemas de Ayuda a la Decisión¹ que han sido desarrollados utilizando modelos predictivos para ayudar a los decisores durante este proceso de gestión de la emergencia. No todos presentan el mismo grado de complejidad ni cubren por igual todos los aspectos requeridos en la gestión de la emergencia. Un análisis crítico de la situación actual a nivel europeo en el desarrollo de tales sistemas, así como de los modelos y metodologías empleados, nos permitirá seleccionar las mejores opciones, disponibles actualmente, para estudiar el desarrollo de escenarios potenciales de intervención que puedan representar situaciones nacionales características y permitan estimar los correspondientes niveles de intervención operacionales a utilizar en posibles emergencias radiológicas y/o nucleares futuras.

Desarrollo de Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) en el Marco Comunitario

Tras la experiencia en la respuesta al accidente de Chernobyl aparecieron en Europa una serie de necesidades para cubrir las carencias que se manifestaron entonces. Estas incluían la necesidad de:

- Una respuesta más coherente y armonizada en toda Europa y durante las diferentes fases de un accidente (en particular, para limitar la pérdida de confianza del público ante las medidas que tengan que adoptar las autoridades para su protección);
- Un intercambio mejor de la información y los datos durante una emergencia para posibilitar una actuación más rápida y efectiva entre los países vecinos;
- Hacer un uso mejor de los limitados recursos técnicos y evitar la duplicación;
- Desarrollar herramientas de ayuda a la decisión sobre, y de técnicas para la gestión a largo plazo y restauración de los ambientes contaminados o con posibilidad de ser contaminados.

¹ SAD. Sistema de ayuda a la Decisión (DSS en inglés)

- Tener en cuenta los factores sociales, económicos, éticos y culturales en el establecimiento de las políticas de gestión post-accidente.

Los SAD desarrollados en el Marco Comunitario pueden tomar diferentes formas, pero su principal propósito está claro: apuntalar el desarrollo de políticas sólidas para la gestión de los accidentes exteriores y asegurar la calidad en su aplicación. El apoyo se puede dar a varios niveles, en orden de complejidad creciente, desde la mera descripción, para la provisión de una evaluación de los beneficios y desventajas de las diferentes opciones de contramedidas, hasta ordenarlas de acuerdo a las preferencias expresadas por los decisores para los diferentes resultados. Los SAD se pueden categorizar en cuatro niveles:

- **Nivel 0.** Adquisición y verificación de los datos radiológicos y su representación, directa o con mínimos análisis, junto con información geográfica y demográfica.
- **Nivel 1.** Análisis y predicción de la situación actual y futura (distribución en el espacio y el tiempo del material radiactivo en ausencia de las contramedidas) basados en los datos de la vigilancia ambiental, datos meteorológicos y modelos, incluyendo información sobre el material liberado desde la instalación al medio ambiente.
- **Nivel 2.** Simulación de las contramedidas potenciales (confinamiento, evacuación, administración de tabletas de yodo, reubicación, descontaminación y restricción de alimentos...) en particular, determinación de su viabilidad y cuantificación de sus beneficios y desventajas.
- **Nivel 3.** Evaluación y ordenación de las estrategias de remediación alternativas mediante la compensación de sus respectivos beneficios y desventajas (costes, dosis evitadas, reducción de la ansiedad y el estrés, aspectos socio-psicológicos, aceptación política...) teniendo en cuenta los juicios y preferencias de los decisores.

Los proyectos más destacados que han desarrollado algún SAD (u orientaciones) se listan en la Tabla 1, donde también se indica el alcance o intervalo de aplicabilidad conseguido.

Tabla 1 Aplicabilidad de los Sistemas de Ayuda a la Decisión desarrollados durante el 4º PM de la CE.

Acrónimo del Proyecto	Fase del Accidente				Medio ambiente						Aplicabilidad al tipo de liberación o contaminante		
	Amenaza o preliberación	Liberación	Post-liberación	Gestión Largo Plazo / Restauración	Urbano	Rural		Acuático			Todos ¹	Cesio	Otros
						Natural / semi-natural	Agrícola	Agua Dulce	Marino				
									Costas	Mares			
CESER													Sr ²
MOIRA													Sr
RESTORE													Sr
RODOS ³													
SAVE													
SPARTACUS													
STEPS													
TEMAS													Sr

1 En la práctica, se limita a los 68 radionucleidos que se incluyen entre todos los potencialmente importantes en las liberaciones accidentales de las instalaciones nucleares

2 Sr - Estroncio

3 Comprende siete proyectos individuales que fueron implementados de una manera integrada.

El proyecto **RODOS²** (*Real time On-line DecisiOn Support for off-site emergency management*) es el único que cumple el objetivo de ser un sistema global para las emergencias exteriores, aplicable para toda Europa, para cualquier tipo de accidente nuclear y comprendiendo todas las fases de la gestión del accidente, y constituye un hito importante en el apoyo de la CE a la investigación. Además, ha sido o está siendo instalado en los centros de emergencia de varios países europeos para su utilización preoperacional (Austria, Alemania, Finlandia, España³, Portugal, Polonia, Hungría República Eslovaca, Ucrania) o se prevé su instalación en el futuro (Grecia, Países Bajos, Eslovenia, República Checa, Rumania, Bulgaria y Rusia). Este amplio uso del sistema ejemplifica sus logros y augura un buen camino hacia la obtención de una respuesta coherente y efectiva para cualquier accidente futuro que pudiera afectar a Europa.

Actualmente, el proyecto integrado **EURANOS⁴** (*EUROpean Approach to Nuclear and radiological emergency management and rehabilitatiOn Strategies*), en el que participan 17 organizaciones nacionales de gestión de la emergencia (el CSN de España, entre ellos) con 33 institutos de investigación de otros tantos países (de España, participan el CIEMAT y la UPM), pretende incrementar la coherencia y eficacia de la gestión de emergencias nucleares y radiológicas en Europa incluyendo la rehabilitación de las áreas contaminadas, a través del establecimiento de una plataforma de trabajo eficaz de las instituciones, organizaciones de I+D+T, usuarios y otros grupos involucrados para iniciar y promover

² La página web de **RODOS**: <http://www.rodos.fzk.de> mantiene información actualizada del sistema y el acceso a la documentación generada hasta el momento.

³ El proyecto **ISIDRO** (*Integración del Sistema de ayuda a la Decisión RODos en la sala de emergencias (SALEM) del CSN*), es un acuerdo específico de colaboración entre el CSN, CIEMAT y UPM, recientemente establecido, para conseguir este objetivo.

⁴ La página web del proyecto, <http://www.euranos.fzk.de/> presenta actualizados todos los avances, la documentación generada y el anuncio de los eventos que giran alrededor del mismo.

mejoras prácticas en los métodos, procedimientos, guías y herramientas de innovación tecnológica como el SAD RODOS.

El Sistema RODOS

La arquitectura conceptual de RODOS se estructura de forma modular en subsistemas independientes en estrecha relación con los pasos principales de la respuesta a la emergencia (Figura 1):

- Subsistema de Evaluación (ASY). La evaluación de la situación radiológica, aplicando modelos de cálculo para la predicción y diagnóstico de las consecuencias de las liberaciones de radiactividad al medio ambiente. Los módulos principales integrados en ASY son:
 - Cadena de modelos de escala local (LSMC) para procesos de transporte atmosféricos que incorpora un pre-procesador meteorológico, un modelo local de campos de viento y dos modelos "puff" para la dispersión atmosférica en el rango cercano; un modelo de dispersión atmosférico para el rango lejano (MATCH).
 - Modelo radiológico y de dosis para todas las vías de exposición.
- Subsistema de Contramedidas (CSY). La evaluación de las medidas de remediación, seleccionando y caracterizando las más idóneas en cada caso. El módulo CSY contiene:
 - Modelos de simulación para confinamiento, evacuación, profilaxis con yodo, realojo, descontaminación y medidas en la agricultura.
 - Modelos radioecológicos y de dosis como en el ASY, para cuantificar el beneficio de la implementación de las contramedidas y actuaciones de emergencia.
 - Modelos para calcular los efectos deterministas y estocásticos sobre la salud y para estimar el coste económico de las medidas y efectos a la salud.
- Subsistema de Evaluación (ESY). La toma de la decisión, sopesando todos los factores (radiológicos y no radiológicos) que influyen en la selección de la mejor estrategia e incluyendo las opiniones de los interlocutores sociales afectados. Su tarea principal es la evaluación y jerarquización de las alternativas de estrategia de contramedidas respecto al balance entre beneficios y desventajas, incluyendo:
 - Restricciones (viabilidad, aceptación pública).
 - Preferencias de los decisores, aspectos políticos y socio-psicológicos.

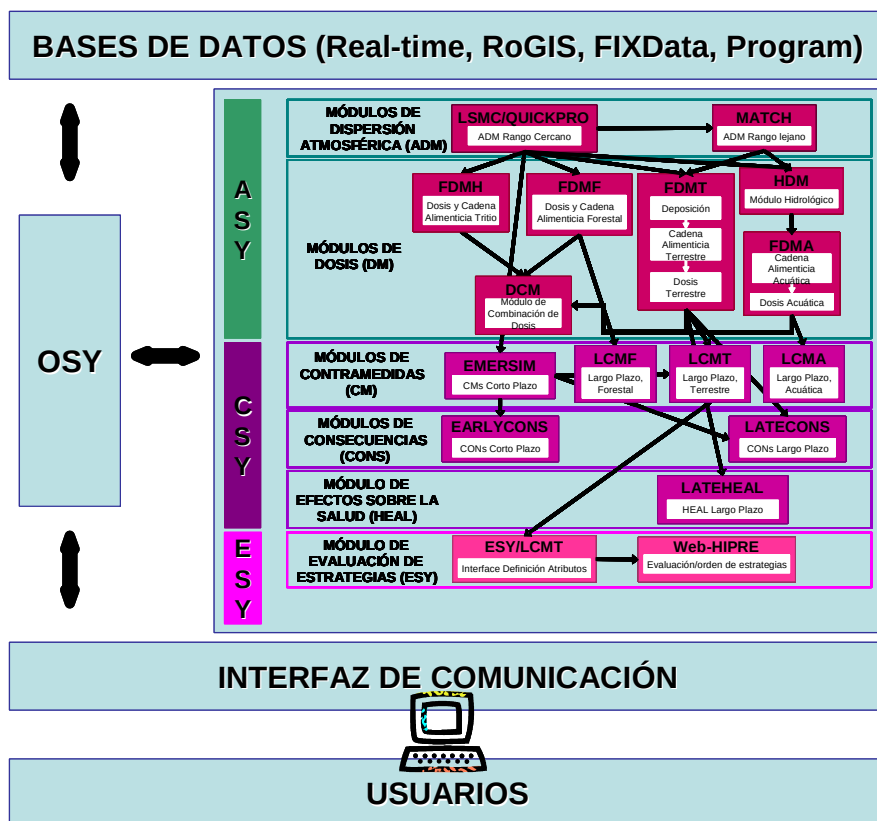


Figura 1. Estructura conceptual y modular de RODOS

La interconexión de todos los módulos del programa, las entradas, la transferencia e intercambio de datos, la presentación de los resultados y los modos de operación automático e interactivo se controlan mediante un subsistema (**OSY**) con funciones de cliente-servidor.

Además, el sistema RODOS ofrece **interfaces** apropiadas a las redes de seguridad de las plantas nucleares, de vigilancia radiológica y meteorológica:

- Entrada flexible de información del término fuente.
- Bases de datos de términos fuente para accidentes de reactores nucleares tipo.
- Datos radiológicos en tiempo real: emisión desde la chimenea, vigilancia local y nacional (incluyendo EURDEP).
- Datos meteorológicos del emplazamiento.
- Previsiones meteorológicas de modelos climáticos numéricos.
- Cálculos de pronóstico de la dispersión atmosférica en el rango lejano.

9.1.2. ANÁLISIS DE DECISIÓN Y SU APLICACIÓN EN LA GESTIÓN DE EMERGENCIAS NUCLEARES

Las decisiones que se refieren a las acciones protectoras implican objetivos múltiples tales como la minimización de la dosis a la población, los costes monetarios y la perturbación social. Ningún curso de acción alcanza todos estos objetivos. Los factores que afectan las decisiones normalmente están en conflicto entre sí, y algunos son más importantes que otros. De esta manera existe una necesidad de considerar los equilibrios entre los beneficios y los inconvenientes conectados con diversos factores. Los problemas implican también incertidumbres. Por ejemplo, las dosis a un individuo y los costes pueden predecirse únicamente en el momento de la decisión, y son posibles grandes variaciones. De esta manera, la actitud frente al riesgo mantenida por la(s) persona(s) que toma(n) la(s) decisión(es) afectará la elección de una alternativa. Las decisiones sobre las acciones protectoras son secuenciales. Si se toma una acción, ésta puede necesitar una segunda acción. Finalmente, las acciones protectoras, como las que se refieren a la sociedad, son decisiones en grupo. Las múltiples partes interesadas pueden tener diferentes puntos de vista sobre el problema y conjuntos alternativos de objetivos. Los objetivos de la planificación de las acciones de emergencia se dirigen, en función de la información disponible y las preferencias de la(s) persona(s) que toma(n) la(s) decisión(es), al mejor curso de acción.

Con el fin de obtener el beneficio planificado, las acciones protectoras y sus bases deberán ser transparentes y comprensibles a la población. La planificación de las acciones protectoras con la asistencia del análisis de la decisión ayuda a clarificar la importancia de los factores implicados y cuales son las preferencias.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha encontrado en el análisis de la decisión una importante materialización práctica del concepto de optimización en Protección Radiológica (ICRP 1989, 2000). La definición del problema se puede mejorar si las opciones de protección radiológica fueran, apropiadamente, identificadas y su ejecución evaluada en términos de reducción de riesgos, costes y otros factores relevantes. Una aproximación sistemática aseguraría, además, el reconocimiento de todos los juicios involucrados.

Todos los SAD proporcionan factores objetivos, relacionados con el nivel de protección radiológica obtenida, como son los riesgos individuales o colectivos evitados al público y trabajadores y los costes de las contramedidas. Sin embargo, en la vida real también hay factores subjetivos, no relacionados estrictamente con el nivel de protección radiológica obtenida, que deben ser incorporados en el proceso de toma de decisiones. Estos factores pueden estar relacionados con la aceptación política, el sentimiento de seguridad y confianza del público, el principio de igualdad de trato, consecuencias socio-psicológicas, etc., dependiendo de los interlocutores sociales implicados en el proceso de toma de decisión.

Por tanto, los SAD, para proporcionar un apoyo real a los decisores, deben ser capaces de manejar, también, estos factores subjetivos junto con los, propiamente, relacionados con la protección radiológica. El sistema RODOS, por ejemplo, ha incorporado una moderna herramienta de análisis de la decisión, denominada Web-HIPRE (Hlerarchical PReference analysis in the World Wide Web). Es un software para estructurar problemas analíticos de

decisión, realizar una priorización y evaluación multicriterio (toma de decisiones multicriterio, MCDM).

Antes de presentar esta herramienta, veamos algunos conceptos básicos que ayuden a comprender la teoría del análisis de la decisión.

Conceptos básicos de la teoría del análisis de la decisión

El análisis de la decisión es un área de investigación que estudia técnicas formales para apoyar a los decisores en el proceso de toma de decisiones. La aproximación emplea un análisis sistemático que proporciona al decisor una mejor comprensión del problema y, por lo tanto, facilita una selección con conocimiento de causa. La metodología de análisis de decisión se puede resumir con cuatro pasos separados:

1. Estructurar la decisión problema.
2. Evaluar posibles impactos de cada alternativa.
3. Determinar las preferencias (valores) de los decisores.
4. Evaluar y comparar alternativas.

Los pasos son interdependientes y el proceso de toma de decisiones por lo general, es iterativo hasta conseguir un resultado aceptable. En la Figura 2 se muestra el proceso de análisis de decisión en forma de diagrama de flujo.

Una etapa principal del análisis es identificar las alternativas de actuación. En la consideración de una intervención, se definen todas las acciones viables – incluyendo el no hacer nada – que pueden implementarse para controlar una cierta ruta de exposición. Se debería definir el grupo de población que se va a proteger y a qué grupo alcanza la acción. En la definición de la acción debería considerarse su viabilidad. La sociedad no es indiferente a la elección de la acción. La opinión pública y la percepción del riesgo pueden reducir el beneficio de la acción o hacer imposible su implementación. Por ejemplo, en un accidente limitado, la población puede no desear consumir queso o mantequilla si proceden de leche producida en una zona contaminada, aunque, por ejemplo pudieran eliminarse de manera muy eficiente el cesio y el yodo durante los procesos de fabricación. Es difícil hacer seguir a la gente recomendaciones que están en contra de lo que desean y de sus necesidades psicológicas.

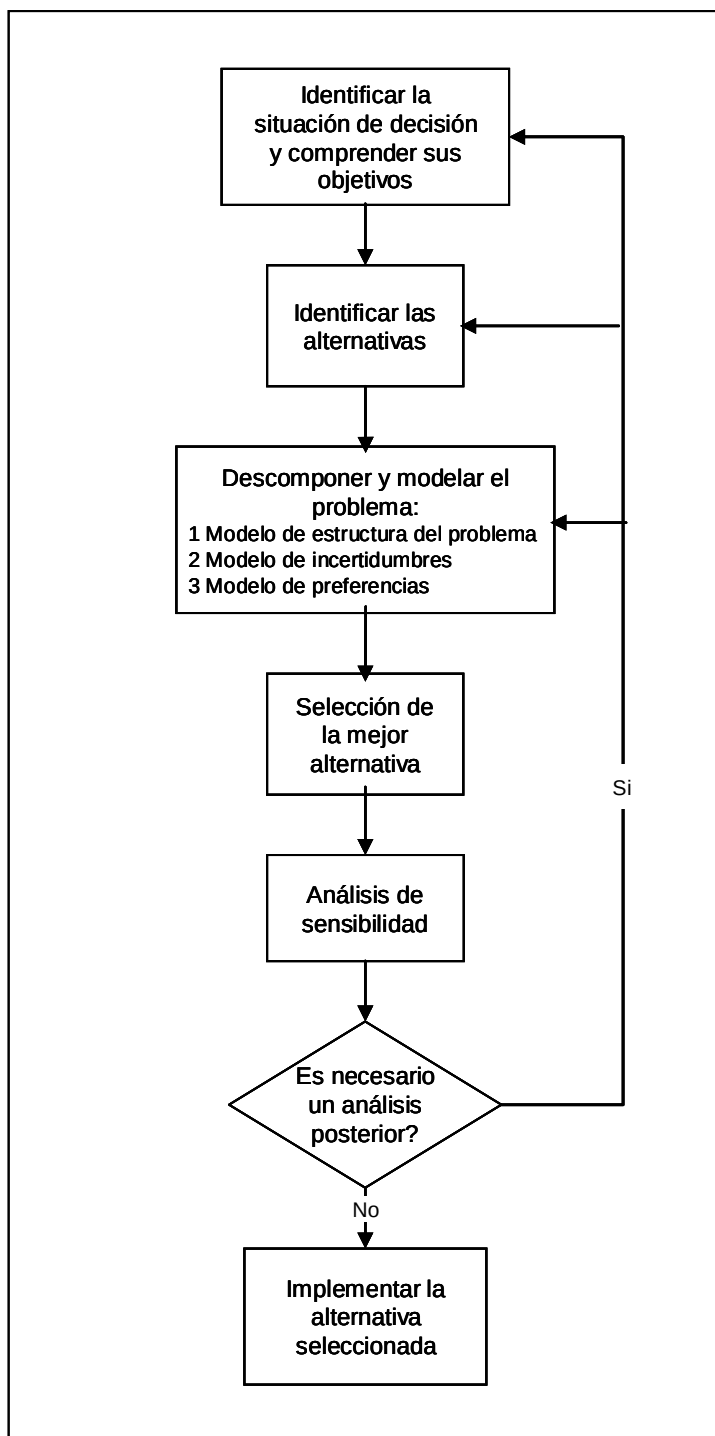


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de análisis de la decisión

Objetivos y atributos

Muchos investigadores en la teoría de la decisión han planteado que la identificación de los **objetivos** relevantes para el problema de decisión es la parte crítica del proceso ya que las alternativas de actuación son importantes sólo como un medio para obtener esos objetivos. Para ser más útiles y comprensibles, los objetivos deben ser medibles. En el análisis de la decisión se utiliza una escala numérica para evaluar como se pueden alcanzar los objetivos con las actuaciones propuestas. La correspondiente variable numérica se denomina **atributo**. Los objetivos y los atributos no siempre son evidentes, necesitando tiempo y esfuerzo para especificarlos claramente. La identificación de los objetivos se puede facilitar pensando en los pros y contras de las potenciales alternativas.

Para la gestión de la emergencia nuclear, las organizaciones internacionales han listado un grupo genérico de objetivos: minimización de los riesgos de la dosis de radiación, riesgos físicos, costes monetarios, ansiedad y perturbación social, y maximización del sentimiento de seguridad producido por la intervención (ICRP 1991, 2000; IAEA 1994). Los atributos se pueden agrupar en categorías generales en relación con los objetivos genéricos. Por ejemplo:

Salud

- Efectos deterministas a la salud
- Accidentes ocupacionales
- Otros accidentes
- Incidentes de cáncer
- Perturbaciones mentales inmediatas

Socio-psicológicos

- Comunicación/Media
- Tranquilidad de la población
 - Credibilidad de las contramedidas
 - Credibilidad de las autoridades
- Ansiedad de la población.

Medio ambiente

- Medio ambiente residencial
- Alrededores.
- Naturaleza.
- Vías de agua.
- Recursos de agua de bebida.
- Paso del tiempo.

Economía

- Mercado exterior.
- Mantenimiento de la industria y el empleo
- Reputación internacional
- Pérdida de valor adquisitivo y de las propiedades.
- Distribución de edad.
- Realojamiento voluntario de la población.
- Costes directos de la limpieza.

Aspectos técnicos

- Viabilidad técnica.
- Adecuación de la mano de obra.
- Disponibilidad de equipos de limpieza y otros equipamientos.

9.1.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DECISIÓN: SOFTWARE WEB-HIPRE

La aproximación utilizada por el software Web-HIPRE, incorporado al RODOS, se basa en la teoría del valor multi-atributo (MAVT). Esta teoría proporciona y desarrolla métodos para estructurar y analizar problemas de decisión por medio de árboles de atributos y para obtener la importancia relativa de los criterios del árbol. En un árbol de atributos, el objetivo global se divide jerárquicamente en objetivos de menor nivel (también llamados criterios) y en el nivel más bajo se sitúan los atributos medibles. (Figura 4).

Los pasos interactivos esenciales en análisis de MAVT (véase la Figura 3) incluyen en primer lugar la estructuración del problema en una jerarquía de criterios y en segundo lugar, la obtención de sus importancias relativas. Un árbol de atributos permite representar y evaluar las prioridades de los decisores mediante una puntuación global y descomponerlas en diferentes criterios, así como estudiar la sensibilidad a los cambios en las ponderaciones. Estas etapas son fáciles de realizar con el apoyo de Web-HIPRE. La estructuración se puede hacer interactivamente y los criterios y alternativas pueden ser directamente vinculados a páginas web con explicaciones que proporcionen al decisor información suplementaria de los mismos.



Figura 3. Principales fases del MAVT

Estructuración del problema

El proceso de estructuración del problema tiene que ver más con una formulación adecuada que con la resolución del problema. Es una parte muy importante de un análisis MAVT, ya que da una mejor comprensión tanto del problema como de los valores que afectan a una decisión, y también sirve de base para nuevos análisis y, como un lenguaje común para la comunicación (http://www.mcda.hut.fi/value_tree). Además, para la identificación y especificación de los objetivos (criterios) y los atributos, así como las alternativas de decisión, el objetivo de la estructuración del problema es la modelación jerárquica de los criterios. La modelación jerárquica se puede lograr por medio de dos aproximaciones:

- una **aproximación arriba-abajo** ("top-down"), denominada estratégica que comienza con la determinación del objetivo más general (objetivo o meta global), que, sucesivamente, se divide en sub-objetivos y - en el nivel más bajo - en atributos mensurables.

- una **aproximación abajo-arriba** ("bottom-up"), denominada táctica que comienza a partir del listado de todas las diferencias significativas entre las alternativas de decisión (identificación de los atributos mensurables en los que la ejecución de las alternativas es diferente), que se combinan y estructuran, a continuación, en objetivos de nivel superior.

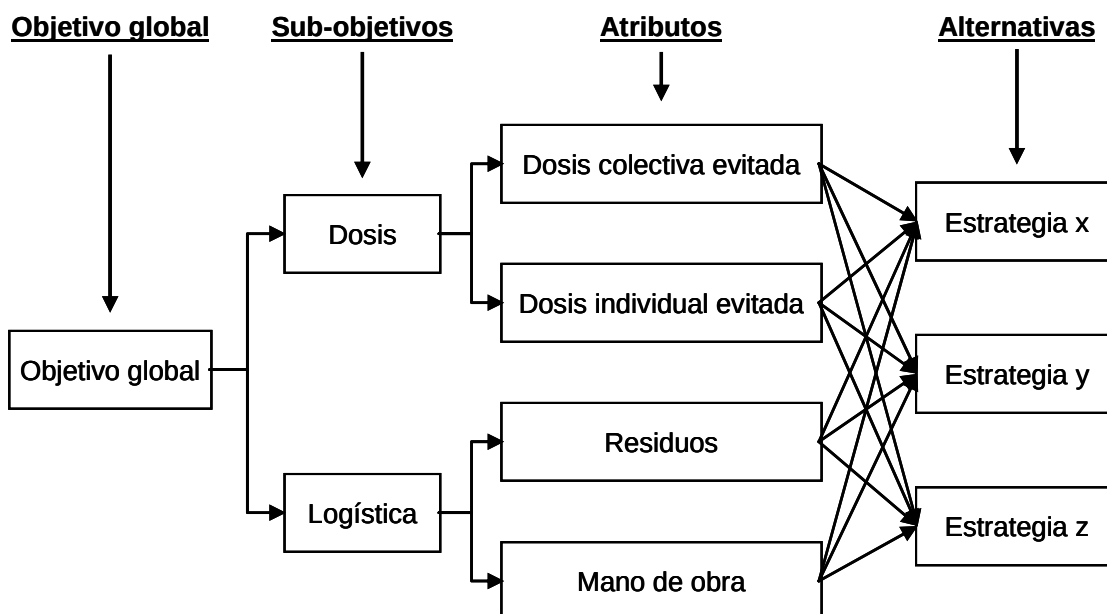


Figura 4: Ejemplo de un árbol de atributos (jerarquía de los criterios)

Finalmente, después de construir el árbol de atributos, hay que examinar que se satisfacen las siguientes propiedades:

Integridad

- Todos los objetivos deben incluirse en el orden jerárquico.
- El conjunto de atributos completamente define el grado en que se consigue el objetivo general.

Capacidad operativa

- Los atributos deben ser significativos y evaluables.

Fraccionamiento

- Los atributos debe serlo independiente, es decir, debe ser posible el análisis de un atributo en cada momento.

Ausencia de redundancia

- El conjunto de atributos no deben ser redundantes para evitar el doble cómputo de las consecuencias.

Tamaño mínimo

- El conjunto de atributos debe ser mínimo.

Cada árbol de atributos tendrá asociado una *tabla de decisión*, que contiene las puntuaciones (rendimiento) $s_i(a)$ de cada alternativa individual a , respecto a cada atributo i (donde $1 \leq i \leq m$ y m denota el número de atributos). La Tabla 2 muestra un ejemplo de la tabla de decisión que corresponde al árbol de la Figura 4.

Tabla 2: Ejemplo de la tabla de decisión que correspondería al árbol de atributos de la Figura 4

Atributos i Alternativas	dosis colectiva evitada 1	dosis individual evitada 2	residuos 3	esfuerzo de trabajo 4
Estrategia x	s_1 (Estrategia x)	s_2 (Estrategia x)	s_3 (Estrategia x)	s_4 (Estrategia x)
Estrategia y	s_1 (Estrategia y)	s_2 (Estrategia y)	s_3 (Estrategia y)	s_4 (Estrategia y)
Estrategia z	s_1 (Estrategia z)	s_2 (Estrategia z)	s_3 (Estrategia z)	s_4 (Estrategia z)
Unidad	manSv	mSv	kg	# trabajadores

Sin embargo, RODOS proporciona un gran número de alternativas para la evaluación y también una gran variedad de atributos para evaluar las alternativas propuestas. Los usuarios pueden empezar con el árbol completo proporcionado por RODOS y, a continuación, eliminar los atributos y criterios que no quieren tener en cuenta en el ulterior proceso de toma de decisiones.

Obtención de las preferencias

Después de la estructuración de un problema MCDM en un árbol de atributos (jerarquía de criterios), hay que construir un *modelo* que represente las *preferencias* y juicios de valor de los decisores. Este modelo consiste, básicamente, de dos componentes:

1. Un modelo que puntúa cada alternativa respecto a cada uno de los criterios del nivel más bajo (atributo).
2. Un modelo que permite la comparación de la importancia relativa entre los diferentes criterios a fin de obtener una clasificación general de las alternativas.

El primer componente se refiere a todos los atributos. Se define una función de valor aplicable a cada atributo para que sus puntuaciones se relativicen a una escala ficticia de intervalo 0 (peor resultado) a 1 (mejor resultado). Las *funciones de valor* no tienen por qué ser lineales, pudiendo representar cualquier forma que represente las preferencias de los decisores.

El segundo componente del modelo de preferencias se puede desglosar en dos partes: En primer lugar, se obtiene la importancia relativa entre los criterios que componen el árbol de atributos, a excepción del nivel inferior (atributos). En segundo lugar, las puntuaciones de rendimiento de las alternativas respecto a los distintos criterios deben ser agregados a fin de obtener una clasificación general.

En cuanto a la comparación de la importancia relativa entre los criterios, las ponderaciones se pueden obtener mediante distintos procedimientos de ponderación. La forma más fácil es asignarlas directamente (ponderación DIRECTA). Web-HIPRE soporta todos los métodos comunes de ponderación basados en comparaciones, SWING, SMART, SMARTER, AHP (Proceso jerárquico analítico) y permite utilizar cualquier combinación de los mismos en un modelo. También hay una serie de técnicas para la especificación de las funciones de valor. En muchos casos, la asunción de funciones de valor lineales se puede justificar. Sin embargo, hay que prestar atención cuando se presentan valores atípicos.

Agregación

Suponiendo mutua independencia de los atributos, se puede utilizar la regla de agregación aditiva estándar para añadir conjuntamente las puntuaciones de los valores ponderados de una acción (valores de atributos ponderados en cada acción) para obtener su beneficio global:

$$V(a) = \sum_{i=1}^m w_i v_i(s_i(a))$$

en el que w_i es el factor de ponderación (importancia relativa) asignado al atributo i . En la Figura 5 se muestran los resultados para los atributos del árbol de la Figura 4.

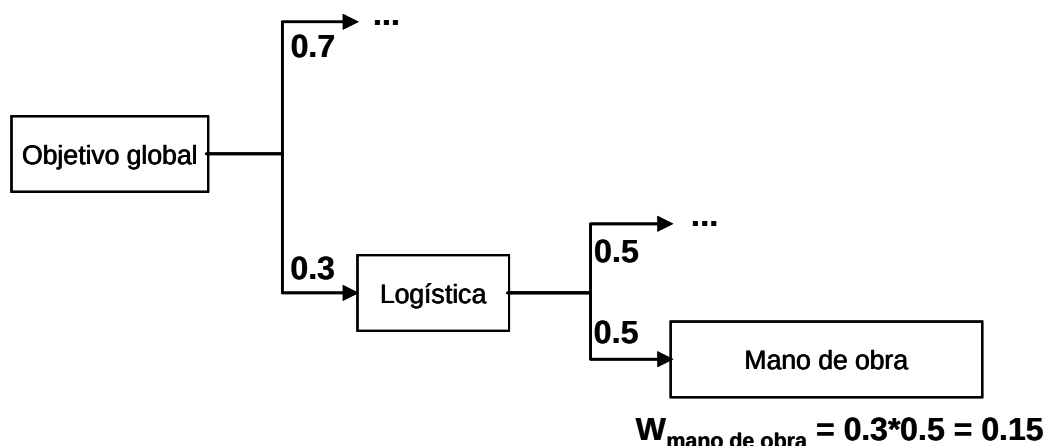


Figura 5: Ejemplo de determinación del peso de un atributo

Los modelos aditivos se usan ampliamente y se ha encontrado que son útiles en las conferencias de decisión, en las que un grupo de personas que toman las decisiones se reúnen para considerar un problema de decisión. El coste de su simplicidad es que el procedimiento no puede capturar todos los detalles y complejidades del problema real. En la práctica, se ha encontrado que la solución es robusta, aunque no es adecuada en todas las circunstancias. Por ejemplo, no es apropiada si las incertidumbres principales se conectan con la decisión.

Análisis de sensibilidad

Dado que la determinación de los factores de ponderación dentro de un análisis de decisión está, en cierta medida, sujeto siempre a la subjetividad, es importante analizar la solidez de una decisión. Los análisis de sensibilidad permiten un examen de los efectos (sobre la clasificación) cuando el peso de un criterio se varía. El análisis de sensibilidad de la Figura 6 muestra que la decisión es relativamente robusta frente a los cambios del factor de ponderación de la aceptación. Las líneas del gráfico, asociadas a cada alternativa, muestran las puntuaciones globales de las alternativas (asociadas) cuando la ponderación (de la aceptación) se varía desde 0% a 100% y la línea negra vertical representa el status quo.

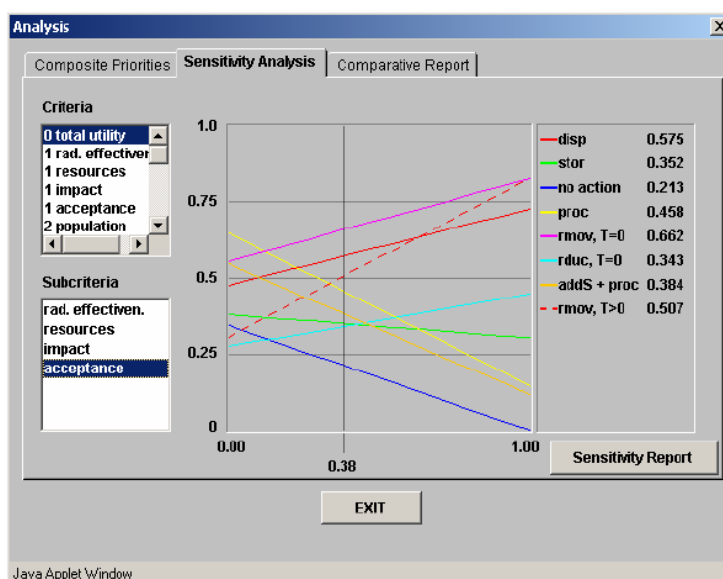


Figura 6: Análisis de sensibilidad en Web HIPRE

Explicación de los resultados y Antecedentes

Un "módulo de explicación", que se ha integrado en Web-HIPRE ofrece la posibilidad de generar informes en lenguaje natural que explican los resultados de los análisis de decisión.

Resumen

La Figura 7 resume los procesos de obtención y evaluación de las preferencias en Web-HIPRE indicando la interactividad de estos procesos y la posibilidad de corregir los parámetros de decisión en el caso que las preferencias y juicios de valor de los decisores no se representen de forma exacta por el modelo.

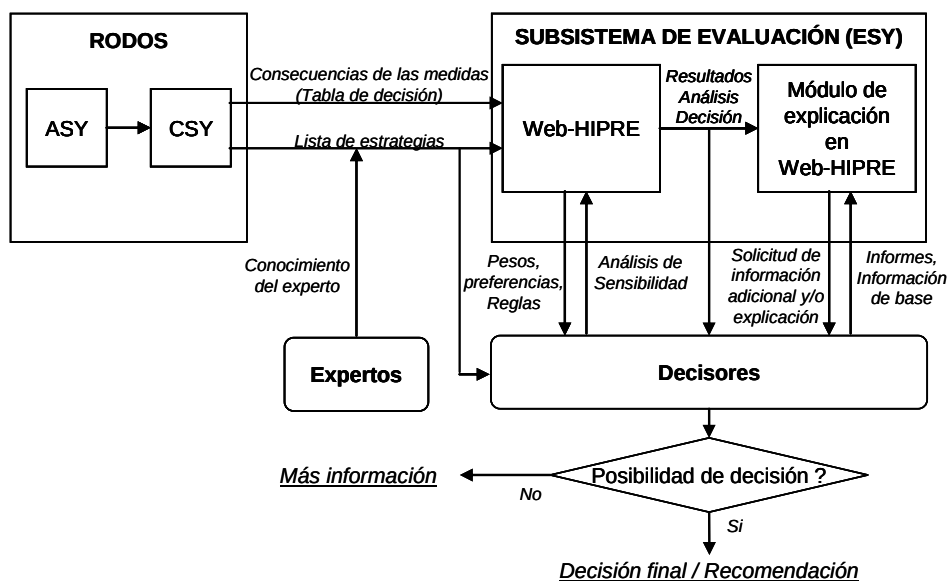


Figura 7: El proceso de obtención de preferencias y evaluación en RODOS/Web-HIPRE

9.1.4. DECISIONES DE GRUPO Y TALLERES ORIENTADOS A LA DECISIÓN

En la realidad, en la gestión de una emergencia nuclear estarán implicadas muchas personas que toman decisiones. En la fase temprana éstas son los servicios de emergencia y el personal de la planta, más tarde expertos médicos, físicos, económicos y políticos responsables superiores. Las decisiones que implican cuestiones sociales tales como las acciones protectoras son a menudo decisiones de grupo, que se pueden ver afectadas por diversas demandas y por aquellos que controlan intereses diversos.

En las decisiones de grupo así como en las decisiones individuales, el análisis de la decisión ayuda a las personas que toman las decisiones a una mayor comprensión del problema y las preferencias de otros miembros del grupo. Además, el análisis guía la discusión de una manera positiva y constructiva; hay pocas posibilidades en una discusión de saltar de una cuestión a otra sin dirección o progreso. La confianza interna de un grupo hace el papel del analista más importante en las decisiones de grupo que en las decisiones que implican únicamente a una persona. Cuando es necesario, el analista puede discutir con el grupo de manera colectiva, o con individuos o subgrupos que tienen conocimientos técnicos especiales.

Si se alcanza un mutuo entendimiento en un análisis de grupo, entonces se escogen valores de consenso. En caso de desacuerdo, se utilizan promedios groseros. El objetivo es únicamente construir un esqueleto grosero del análisis de la decisión, que se puede modificar utilizando las opiniones de los miembros, que discuten entre sí, y usando un análisis exhaustivo de la sensibilidad. Los talleres orientados a la decisión son una solución socialmente interactiva de un grupo de personas que toman decisiones con el fin de generar un entendimiento compartido del problema y producir un compromiso de acción.

Los talleres orientados a la decisión (anteriormente llamadas conferencias de decisión) representan un análisis conjunto de la decisión, mediante procesos en grupo y utilización de tecnologías de la información durante una sesión intensiva, generalmente de dos o tres días a la que asisten las personas que toman decisiones, y cualquier otro grupo de expertos interesados.

El grupo se compone cuidadosamente de asesores o expertos que representan todas las perspectivas de la cuestión que se va a resolver. Inicialmente, se reúnen en grupos pequeños, de acuerdo a sus competencias, para discutir el problema. Después, en una reunión conjunta con el resto de grupos se discuten las diversas soluciones con la ayuda de un orientador o moderador, que ayuda a la discusión del grupo y a compartir el conocimiento. El orientador es una persona independiente y neutral.

El objetivo del taller es proporcionar un entendimiento compartido del problema y las opiniones generadas con la ayuda de las técnicas analíticas de decisión y la facilitación social.

9.1.5. BIBLIOGRAFÍA

1. Mustonen, R. Decision making in emergency management. EURANOS(TR)-TN(05)-04. Internal Deliverable EURANOS Project. August 2005.
2. Transparent and traceable decision making in off-site nuclear emergencies. EVATECH-TN(05)-01, Dissemination of achievements in the EVATECH Project of the FP5 Fission Programme, seminar in Brussels 20th april 2005. <http://www.evatech.tkk.fi/brussels/index.html>
3. Ehrhardt, J.; Weiss, A. (eds.). RODOS: Decision Support System for Off-site Nuclear emergency Management in Europe. European Commission, Brussels. Report EUR 19144, 2000.
4. FZK (ed.). The RODOS system. Version PV6.0. Forschungszentrum Karlsruhe, Germany, 2005. 39 pp
5. EURANOS, European Approach to Nuclear and Radiological Emergency Management and Rehabilitation Strategies. Sixth Framework Programme EURATOM No. FI6R-CT-2004-508843. <http://www.euranos.fzk.de/>
6. Bertsch, V.; Hiete, M.; Geldermann, J.; Rentz, O. Introduction to Multi-Criteria Decision Making in Nuclear Emergency and Remediation Management. EURANOS(TR)-TN(05)-06. Internal Deliverable EURANOS Project. September 2007.
7. International Atomic Energy Agency. Intervention Criteria in a Nuclear or Radiation Emergency. Safety Series No 109. OIEA, Vienna, 1994.
8. International Commission on Radiological Protection. Optimization and decision making in radiological protection. ICRP publication 55. Oxford, Pergamon Press, 1989.
9. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford, Pergamon Press, 1991.
10. International Commission on Radiological Protection. Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure. ICRP Publication 82. Oxford, Pergamon Press, 2000.
11. Schulte, E. H.; Kelly, G.N.; Jackson, C.A. Decision Support for Emergency Management and Environmental Restoration. European Commission, Luxembourg. Report EUR 19793. 2002

9.2 EQUIPO, INSTALACIONES Y REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA EL APOYO A LA TOMA DE DECISIÓN

Objetivos

El grupo objetivo de este tema es el personal de apoyo a la toma de decisión. El objetivo del tema es proporcionar una visión de conjunto de los requerimientos de los sistemas de apoyo a la toma de decisión que se van a utilizar en un accidente nuclear.

Contenidos

- Fases del accidente
- Una revisión del proceso de toma de decisiones desde el punto de vista del asesor técnico
- Requisitos de información para la toma de decisiones
- Requisitos de planificación temporal para la toma de decisiones

9.2.1 FASES DEL ACCIDENTE

Las demandas y contenido de los datos, la información y el apoyo a la decisión no son únicamente dependientes de la fase de un accidente sino que dependen también de la distancia al escenario del accidente. El tiempo de respuesta en la fase temprana y cerca del emplazamiento debería ser corto, mientras que en la fase posterior hay más tiempo para un apoyo sofisticado a la decisión. El tiempo de respuesta incluye la adquisición de los datos, su procesamiento, la puesta en marcha de los modelos y también la comunicación de los resultados a la organización que toma la decisión.

Un accidente nuclear se divide normalmente en tres fases: una fase de pre-liberación con una escala temporal de horas/días, una fase de emisión con una escala de horas/días y una fase de post-emisión con una escala de semanas/meses/años, dependiendo de la naturaleza de la emisión. Estas fases se conocen también como temprana, intermedia y de recuperación o lejana (Tabla 1). Las actuaciones protectoras se tomarán con el propósito de evitar la exposición a la radiación procedente de las emisiones atmosféricas de material radiactivo; se clasifican, a menudo, como preventivas, urgentes y protectoras a largo plazo, en relación a las tres fases del accidente. La fase de emergencia de un accidente nuclear cubre las fases de pre-liberación, emisión y parte de la fase de post-emisión.

Tabla 1. Fases de la respuesta a la emergencia y vías de exposición y contramedidas asociadas.

Fase	Rutas principales de exposición	Medidas protectoras
pre-liberación	(radiación de la instalación)	evacuación (preventiva)
fase temprana	radiación desde la nube inhalación (radiación desde el suelo)	evacuación confinamiento iodo estable medidas de protección agrícolas

Fase	Rutas principales de exposición	Medidas protectoras
fase intermedia	radiación desde el suelo cadena alimentaria por contaminación directa	realojo control de alimentos
fase lejana	radiación desde el suelo cadena alimentaria vía absorción radicular (resuspensión)	realojo control de alimentos descontaminación

De la misma forma, un accidente radiológico se divide en dos fases: una fase de emergencia con una escala de horas/días y una fase de post-emergencia con una escala temporal de semanas/meses/años (Figura 1).

En la etapa temprana, la toma de decisión se basa en la información producida de manera más o menos automática. Ésta incluye los datos del estado de la planta y los datos de seguimiento radiológico en el interior y el exterior. Se dispondrá además de información general relativa a los datos meteorológicos y radiológicos del emplazamiento y de pronóstico para las horas siguientes. La composición de los radionucleidos y la probable evolución del accidente permanecen inciertas. Algunas contramedidas aplicables en esta fase (confinamiento, evacuación, profilaxis de yodo, etc.) pueden implantarse como medidas preventivas, previas a una emisión real y/o en ausencia de mediciones ambientales, basándose en las condiciones de la planta.

A medida que pasa el tiempo, se dispondrá de más y mejores resultados procedentes del seguimiento de radionucleidos en el medio ambiente (p.ej., tasas de dosis y concentraciones de radionucleidos en aire y medios específicos, como agua, alimentos, suelo, etc.). Las decisiones respecto a la naturaleza y extensión de las contramedidas se tomarán en base a estas mediciones ambientales relacionándolas con la dosis que se puede evitar al implantarlas.

En la fase tardía es de esperar que se disponga de una panorámica razonable de los niveles de radiación y contaminación en el medio, y se hayan delimitado las áreas afectadas. En esta fase los riesgos dominantes provienen del material radiactivo depositado en el suelo, a través de la exposición externa y la ingestión de alimentos contaminados, y en menor grado, por la inhalación de material resuspendido. Las dosis procedentes de la ingestión o las de la radiación externa pueden ser dominantes en la contribución a la dosis total. La concentración de la contaminación superficial se puede usar para estimar estas dosis y, en consecuencia, para tomar decisiones sobre la implantación de contramedidas. Las principales medidas en esta fase son la reubicación/realojo, restricciones en los alimentos, contramedidas agrícolas y descontaminación del suelo. En esta fase, además, los factores socio-políticos y culturales son muy importantes, e incluso pueden ser dominantes a la hora de tomar una decisión. En este sentido, se hace imprescindible apoyar la decisión con la utilización de herramientas de análisis de la decisión que incluyan y traten adecuadamente estos factores conjuntamente con los propiamente radiológicos.

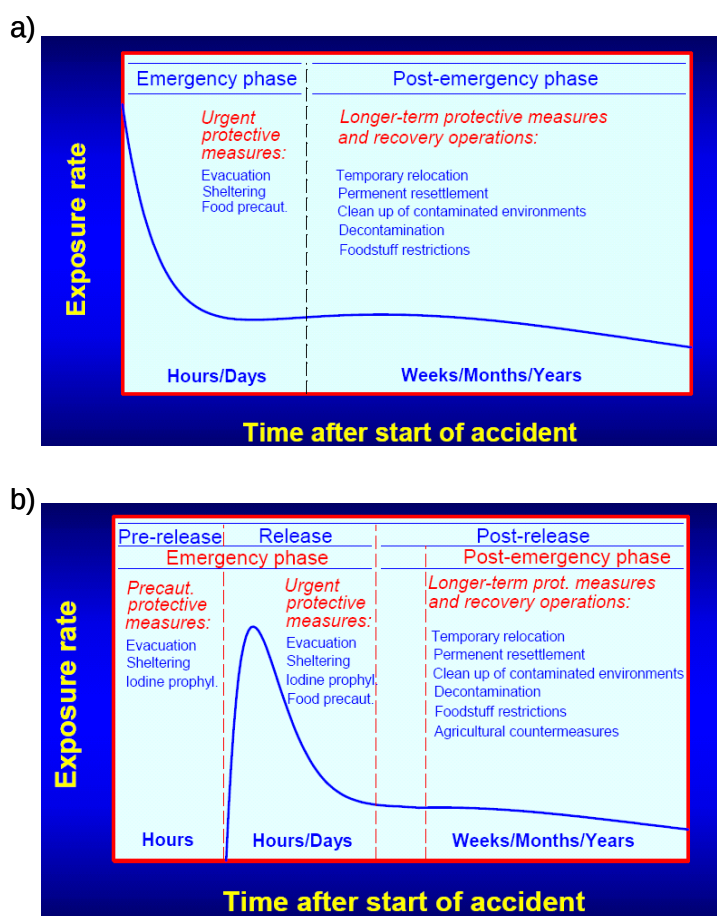


Figura 1. Fases temporales para introducir las actuaciones y medidas protectoras en una emergencia radiológica (a) y nuclear (b).

El apoyo a la decisión puede guiar de muchas maneras a la persona que toma las decisiones en la resolución de los problemas sociales. Existen, sin embargo, muchas técnicas que se pueden adoptar. Normalmente, el procedimiento escogido debería depender del problema y su complejidad, las personas implicadas, y el tiempo disponible.

9.2.2 UNA REVISIÓN DEL PROCESO DE TOMA DE DECISIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL ASESOR TÉCNICO

La gestión de emergencias nucleares y radiactivas en España se regula mediante el sistema nacional de protección civil y los requisitos para el uso de la energía nuclear y las radiaciones ionizantes. El Plan Básico de Emergencia Nuclear (PLABEN) constituye el punto de confluencia de ambos ámbitos normativos en lo referente a las emergencias nucleares. En la Figura 2 se muestra un diagrama funcional de los planes de emergencia nuclear, en el que se puede ver dónde se sitúa la participación del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

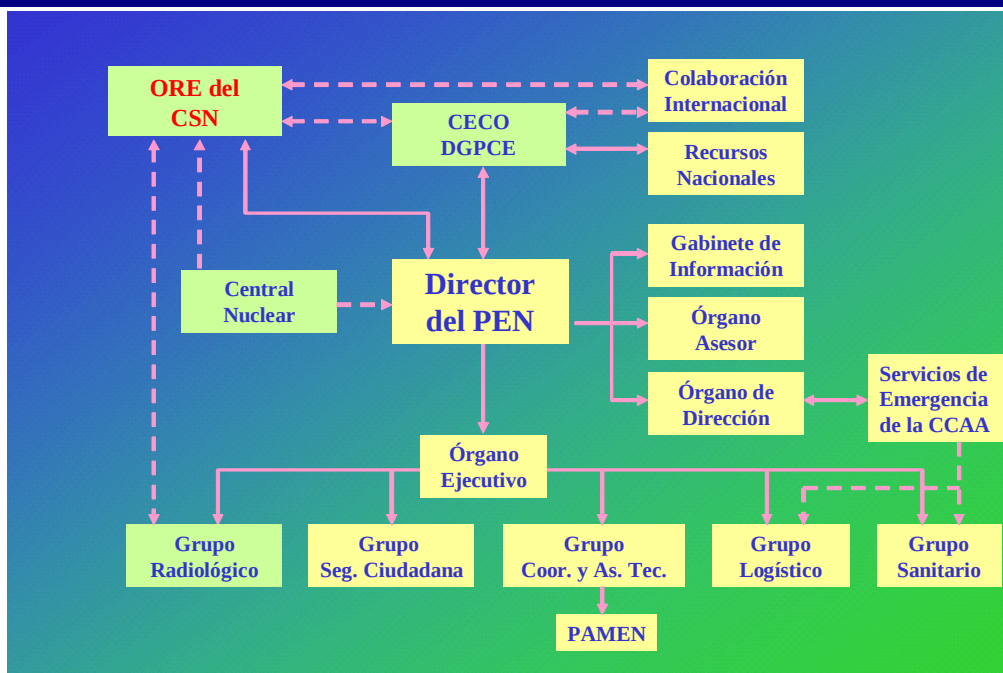


Figura 2. Estructura básica nacional para la organización del Plan de Emergencia Nuclear.

Dada la naturaleza específica de las emergencias nucleares y radiológicas, el Consejo de Seguridad Nuclear asume en esta materia una serie de funciones que van más allá de las competencias que le son propias como organismo regulador nuclear. La Tabla 2 resume de forma ordenada estas funciones.

Tabla 2.- Funciones del CSN en las diferentes fases de los planes de emergencia nuclear y radiológica.

Desarrollo Normativo	• Proponer a las autoridades la normativa básica que regula los planes de emergencia nuclear y radiológica. • Establecer los criterios radiológicos en los que deben basarse los planes de emergencia. • Emitir la normativa técnica necesaria para la elaboración de los planes de emergencia. • Emitir guías y recomendaciones para la elaboración, implantación y activación de los planes de emergencia.
Planificación	• Colaborar con las autoridades en la elaboración de los planes de emergencia de responsabilidad pública y su desarrollo. • Licenciar y controlar los planes de emergencia de los titulares de instalaciones o actividades nucleares o radiactivas. • Elaborar un plan propio de actuación ante emergencias.
Implantación	• Colaborar con las autoridades en la definición y selección de los medios y recursos que deben tener los planes de emergencia de responsabilidad pública. • Contribuir a la dotación y mantenimiento de los medios y recursos de los

planes de emergencia de titularidad pública.

- Cooperar con las autoridades en proporcionar información previa al público sobre las medidas de protección sanitaria y comportamiento a seguir en caso de emergencia, así como en la formación de actuantes.
- Verificar las capacidades de los planes de emergencia de los titulares de las instalaciones o actividades nucleares o radiactivas.
- Dotar y mantener operativos los medios y recursos necesarios para garantizar la operatividad de su plan de actuación ante emergencias del CSN.

Activación

- Asesorar a las autoridades sobre las medidas de protección que deben ponerse en práctica en caso de emergencia.
 - Colaborar en la puesta en práctica de las medidas de protección en caso de emergencia y en la gestión de la información y consignas de protección a la población efectivamente afectada.
-

La Organización de Respuesta ante Emergencias (ORE) es la estructura operativa establecida por el CSN para llevar a cabo las funciones que le corresponden en caso de emergencia nuclear o radiológica y para las que está dotada con los recursos humanos, medios técnicos y procedimientos operativos adecuados. Las actuaciones de la ORE, durante una situación de emergencia real tienen prioridad respecto de cualquier otra actividad del CSN. La ORE actúa independientemente de la función reguladora y de control que tiene asignada el CSN y tendrá como funciones exclusivas:

- Contribuir a llevar la situación de emergencia a condición segura.
- Paliar las consecuencias radiológicas generadas por el accidente que ocasionó la situación de emergencia sobre las personas, los bienes y el medio ambiente.
- Informar y asesorar a las autoridades encargadas de dirigir el plan de emergencia aplicable.
- Informar a la población sobre los riesgos asociados a la situación de emergencia.
- Dar cumplimiento a los compromisos internacionales en materia de pronta notificación y asistencia mutua.

La ORE ejecuta sus funciones en la Sala de Emergencias (SALEM), donde se sitúan los equipos y herramientas requeridos para ello.

La ORE tienen una estructura piramidal y jerárquica, en tres niveles, que actúa de acuerdo con el principio de mando único y es complementaria de la organización ordinaria del CSN (figura 3):

- Nivel de Toma de decisiones: La Dirección de Emergencia (**DE**), asesorado por un comité, es responsable de dirigir la ORE y transmitir las recomendaciones del CSN a la dirección del plan de emergencia aplicable y de informar a las autoridades y a la población potencialmente afectada.
- Nivel de Propuesta de decisiones: La Dirección de Operaciones de Emergencia (**DOE**) es responsable de coordinar todas las actuaciones y elaborar las propuestas de

recomendaciones que el CSN debe remitir a la dirección del plan de emergencia aplicable.

- Nivel de Análisis y Evaluación: Los Grupos Operativos (**GGOO**) constituyen la estructura técnica de la ORE y seleccionan, adaptan, implementan y mantienen sus propias herramientas de trabajo. Se establecen los siguientes grupos especializados:
 - Infraestructura y Coordinación:
 - Grupo de Apoyo Logístico (**GLOG**). Aseguran la disponibilidad de medios logísticos necesarios para el funcionamiento de la ORE.
 - Grupo de Coordinación (**GCO**). Mantienen la infraestructura (entre la que se encuentra la SALEM) de la ORE plenamente operativa y aseguran el flujo de información entre todos sus órganos y el exterior.
 - Evaluación y Pronóstico:
 - Grupo de Análisis Operativo (**GAO**). Analiza las causas del accidente y pronostican su posible evolución futura e informan al DOE sobre las medidas que deberían adoptarse para conducir la situación de emergencia a condición segura, teniendo presente que la responsabilidad de adoptar las decisiones y tomar las medidas oportunas para que esto suceda corresponde a la instalación.
 - Evaluación de Consecuencias y Apoyo a la Intervención.
 - Grupo Radiológico (**GRA**). Analiza la situación radiológica generada por el accidente, propone al DOE las medidas de protección adecuadas para paliar sus consecuencias radiológicas en la población en general, los bienes y el medio ambiente, y colabora en su puesta en práctica. Responsables de la operación de los SAD.
 - Comunicación
 - Grupo de Información y Comunicación (**GIC**). Proporciona a los demás órganos de la ORE y a los organismos con los que el CSN tiene compromiso de pronta notificación, la información sobre la instalación o el lugar del accidente, necesaria para el desarrollo de sus funciones. Así mismo, el GIC es el encargado de preparar la información sobre la emergencia que debe ser remitida a los medios y a la población, en cumplimiento de las funciones que tiene asignadas el CSN.

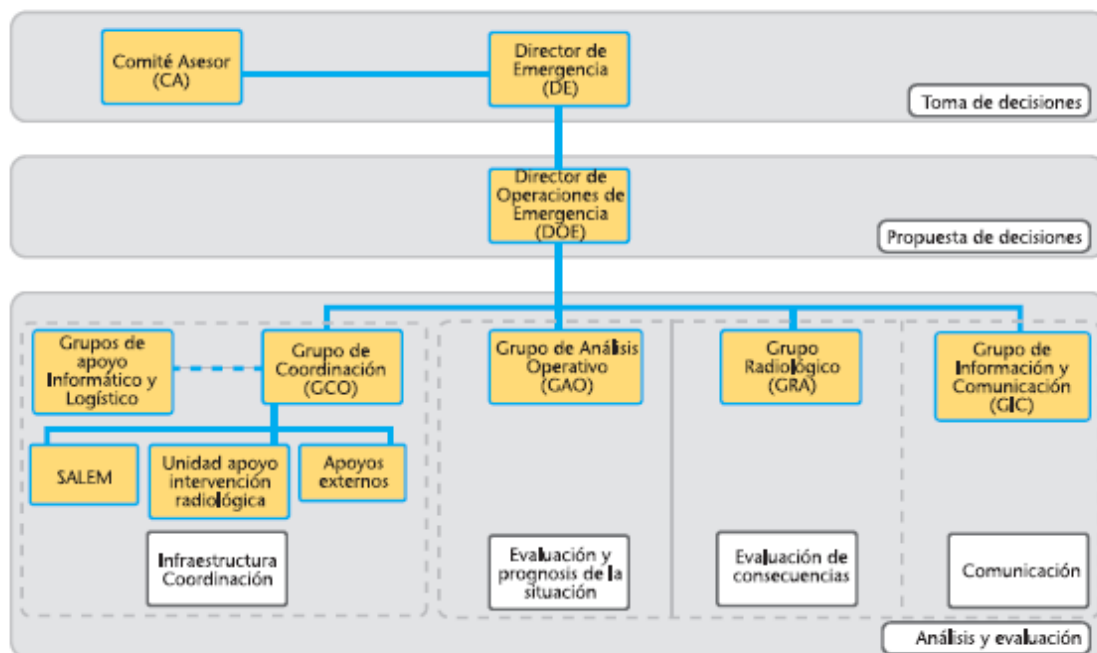


Figura 3.- Estructura orgánica de la ORE.

9.2.3 REQUISITOS DE INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES

La gestión de emergencia española establece dos fases durante un accidente, cada una de ellas relacionada con un conjunto de contramedidas. En la Tabla 3 se muestran las diferentes actuaciones protectoras aplicables en cada una de estas fases, así como la información necesaria para evaluar la situación.

Tabla 3. Información necesaria para evaluar las contramedidas en cada fase de la emergencia

Fase del accidente		Contramedidas	Información de entrada necesaria
Fase inicial	fase de pre-liberación	Contramedidas urgentes Principales contramedidas: • Profilaxis de iodo. • Confinamiento. • Evacuación.	Predicción de la severidad del accidente y condiciones y pronósticos meteorológicos.
	fase de emisión y post-liberación	Contramedidas complementarias: • Control de accesos. • Equipo de autoprotección y actuaciones. • Descontaminación del público. • Restricción de agua y alimentos y otras medidas agrícolas (preventivas).	Actividad emitida (valores de las predicciones y vigilancia), evolución del accidente, y situación y pronósticos meteorológicos
Fase tardía		Contramedidas a largo plazo: • Restricción del consumo, distribución y venta de alimentos, forraje y agua. • Descontaminación y limpieza. • Realojo temporal y reubicación permanente.	Análisis detallado basado en los valores de la vigilancia radiológica y valores socio-económicos.

La información básica necesaria es aquélla con la que se tienen que tomar las decisiones, y que se relacionan directamente con los requisitos para las actuaciones de intervención (niveles de intervención). Se relaciona, por tanto, con los criterios de dosis, que en los planes de emergencia españoles se definen como dosis evitables.

Una vez iniciado el accidente, se analizan, en primer lugar, las condiciones de la planta que podrían conducir a una intervención. En caso de que se declare la categoría IV de accidentes (aquellos en los que hay riesgo de liberación de material radiactivo al exterior, y que podrían conducir a la necesidad de implantar medidas protectoras para la población) se definen dos áreas de intervención dentro de la zona de planificación de medidas de protección urgentes (Zona I): una zona de atención preferente (subzona IA y subsector de atención preferente de la subzona IB), en la que se aplican de forma inmediata las medidas de protección urgentes asociadas a la situación de emergencia 3; zona restante de la zona I (círculo de 10 km, concéntrico con la central nuclear) en la que se aplican todas las medidas de protección urgentes asociadas a la situación de emergencia 2 (sin la evacuación).

En el resto de situaciones, la toma de decisión debería realizarse considerando los niveles de intervención para cada actuación, no de forma inmediata. En este proceso, la decisión se basa en información específica. De acuerdo con su importancia dentro del proceso de toma de decisiones, la información puede ser:

- **Necesaria** para la toma de decisiones: dosis efectiva/tasa de dosis predicha y la dosis absorbida comprometida al tiroides, complementada con los valores reales de la radiación cuando estén disponibles y el momento de llegada de la nube, combinada

con datos meteorológicos, distribución de población y aspectos geográficos. Esta información se representará, preferentemente, como mapas en los que se identifiquen bien las zonas afectadas y la información geográfica. Además, es interesante disponer de información numérica de los valores máximos de dosis en el exterior de la planta y/o en las ciudades más importantes.

- **Otra información relevante** será la representación de la llegada y alejamiento de la nube de contaminación en las zonas afectadas, los mapas de depósito de radionucleidos representativos y la dosis absorbida comprometida al tiroides para adultos y niños, así como las áreas afectadas por exceder los niveles de intervención.
- **Información** adicional que sería **deseable** disponer:
 - Representación geográfica de elementos no radiológicos, como las posibles rutas de evacuación, localización de los controles de acceso, zonas de descontaminación, localización georreferenciada de las unidades móviles y monitores de radiación, puntos de recepción para la población evacuada, etc.
 - Distribución de población, para conocer la población que puede verse afectada por alguna medida protectora.
 - Producciones de alimentos, agua, usos del suelo, patrones de depósito y contaminación, etc. para estimar actuaciones futuras en la última fase que se podrían aplicar de forma preventiva durante la fase temprana (restricciones de alimentos y forrajes y otras medidas agrícolas).

Toda esta información debe recogerse por el centro de control de emergencia (ECC). De manera adicional ha de enviarse a y recibirse desde las diversas organizaciones y emitirse la información al público. La información llegará al ECC desde la planta, el Organismo de Seguridad Nuclear, otros organismos centrales y locales y desde los diversos equipos y unidades de la organización de la emergencia exterior.

Según sean los progresos de la emergencia, el volumen de información será considerable, por lo que es de suma importancia disponer en el ECC de una imagen clara y actualizada de la situación global para tomar las decisiones adecuadas como base de las acciones protectoras. El resto de las partes de la organización de la emergencia exterior deberían de recibir con frecuencia una imagen puesta al día, al menos en lo que concierne a los desarrollos que influyen decisivamente en la implantación de medidas protectoras.

9.2.4 REQUISITOS DE PLANIFICACIÓN TEMPORAL PARA LA TOMA DE DECISIONES

La viabilidad y la efectividad de las acciones protectoras están determinadas por el tiempo que se tarda en implantarlas (desde que se da la alarma de accidente) y el tiempo transcurrido hasta la llegada de la nube radiactiva. Evidentemente, en este tiempo se incluye el tiempo que se tarda en tomar la decisión, el retraso en dar la información a las autoridades locales o a la población y el tiempo debido a la menor o mayor disponibilidad de recursos técnicos y humanos para implantar las medidas.

Los retrasos producidos se pueden reducir al incrementar la experiencia del operador, con la disposición de recursos materiales, con una infraestructura de comunicación eficiente y, especialmente, con un adecuado programa de entrenamiento y ejercicios.

El uso de un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) puede reducir el tiempo que lleva el proceso de toma de decisiones, siempre que se tenga establecido de antemano qué tipo de información hay que presentar a los decisores, según se trate de una fase u otra del accidente. En este sentido, la fase de pre-liberación y las primeras horas de la fase de liberación son críticas. En estas situaciones no hay información radiológica detallada y hay que aplicar contramedidas urgentes para que sean efectivas. El elemento clave para la decisión será la dosis efectiva debida a la radiación externa al comienzo de la emisión y dispersión de la pluma radiactiva. La variación temporal de los valores reales meteorológicos y radiológicos deben integrarse en los cálculos, siendo deseable integrar, también, los pronósticos meteorológicos de las siguientes horas. De hecho, la integración de estos datos en tiempo real debe hacerse en todas las etapas de la emergencia. El término fuente también es importante en la fase temprana.

En relación con la información en que se apoya la decisión de las subsiguientes fases del accidente, no hay restricciones en el tiempo, estando la clave en la cantidad y calidad de la información requerida.

9.2.5 BIBLOGRAFÍA

1. Information technology for emergency management. Final report of the NKA project INF 600. Nordic liaison committee for atomic energy. 1990.
2. A model national emergency plan for radiological accidents. IAEA-TECDOC-718. International Atomic Energy Agency, Viena. 1993.
3. IAEA. Preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. IAEA Safety Standard Series Nº GS-R-2. International Atomic Energy Agency, Viena. 2002.
4. A. Sohler (Ed.). A European Manual for 'Off-site Emergency Planning and Response to Nuclear Accidents', SCK•CEN Report R-3594, Mol, December 2002 (<http://rem.jrc.eu.int/ecurie/>).
5. Miska, H. Off-site Nuclear Emergency Management. Radiation Protection Dosimetry, 109(1-2): 83-87. 2004.
6. Ministerio de Interior. RD 1546/2004, de 25 de Junio, por el que se aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear.
7. Calvín, M.; Gil, E.; Martín, M.; Ramón, J.; Serrano, J.I. Nuevo Plan de Emergencia Nuclear (Plaben). Seguridad Nuclear, 32. III Trimestre 2004.
8. CSN. Organización de respuesta ante emergencias y Plan de Actuación ante Emergencias del Consejo de Seguridad Nuclear. 2006.
9. Ramón, J.; García, J.P.; Franco, F.; Montero, M.; Vázquez, C. Spanish contribution to the Demonstration Project CAT2DEM6: Adequacy of the system results and their forms of presentation within the decision making process. Internal Deliverable, EURANOS Project. 27pp. 2005.

9.3. EJEMPLOS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIÓN PARA ACCIONES PROTECTORAS

Objetivos

Proporcionar ejemplos prácticos de cómo se puede usar el apoyo a la decisión en la planificación de acciones protectoras en las fases inicial y final de un accidente nuclear.

Contenidos

- Experiencias en métodos para involucrar a los interlocutores sociales en las actuaciones en el caso de accidente nuclear
- Talleres orientados a la decisión sobre actuaciones protectoras en la fase inicial de una emergencia
- Análisis de la decisión de actuaciones de limpieza en un entorno urbano

9.3.1 EXPERIENCIAS EN MÉTODOS PARA INVOLUCRAR A LOS INTERLOCUTORES SOCIALES EN LAS ACTUACIONES EN EL CASO DE UN ACCIDENTE NUCLEAR

Las actuaciones protectoras, en tanto conciernen ampliamente a la sociedad, son decisiones de grupo. Los colectivos involucrados tienen, muy a menudo, diferentes puntos de vista sobre el problema y sobre la importancia de los principales objetivos a cubrir.

Un método ampliamente utilizado en la planificación de las actuaciones protectoras es el establecimiento de una red de interlocutores sociales para generar un conjunto exhaustivo de actuaciones protectoras genéricas con el objetivo de incrementar la competencia y construir puentes para la comunicación y la coordinación. La aproximación seguida consiste en evaluar las estrategias de actuación protectoras en el caso de un accidente nuclear, de forma que los intereses y opiniones de los interlocutores sociales puedan incluirse de forma equitativa y transparente en la decisión a tomar.

Los interlocutores sociales ("stakeholders" en inglés) incluyen a las administraciones, organizaciones y responsables políticos, así como a los representantes de los ciudadanos afectados y a cualquier otro colectivo que pueda y, probablemente, tomará parte en la toma de decisión.

La apertura, transparencia y la participación de todos los actores involucrados son factores importantes para una toma equilibrada de decisiones en los asuntos públicos. Los estudios realizados respecto a la participación de estas figuras clave en las decisiones ambientales concluyen que, si las partes no se comprometen en el proceso de toma de decisiones, la política fracasará. Las organizaciones internacionales en Protección Radiológica han reconocido la importancia de una toma de decisiones inmediata, abierta y transparente, basada en hechos científicos y en juicios sociales, dando prioridad a que la base de dicha decisión sea adecuadamente percibida por el público y que todos los factores relevantes relativos a la misma deben ser considerados de manera racional (ICRP 2000, OECD/NEA

2002). Igualmente, han enfatizado que la base para la decisión debe ser percibida por el público y que todos los factores relevantes para la decisión deben considerarse de manera racional.

Existen diferentes maneras de participación en el proceso de toma de decisión de los grupos sociales: comités asesores, células de planificación, jurados populares, mediación, etc. No todos estos métodos de participación articulan factores y juicios de forma sistemática y abierta para ser visualizados por todas las personas implicadas. Pero, en cualquier caso, las experiencias obtenidas destacan la importancia de tener información relevante y procedimientos y métodos claros para el proceso de toma de decisión.

La experiencia obtenida en los países nórdicos, tras aplicar las técnicas de análisis de decisión para resolver problemas sociales en el campo de la gestión de la emergencia nuclear, apoya el uso de mesas redondas o talleres orientados por un moderador u “orientador” (anteriormente denominadas conferencias de decisión) para abordar la decisión cuando compromete a diferentes grupos sociales. Fundamentalmente, los participantes de estos estudios consideraron que tanto los talleres como el análisis de la decisión son herramientas muy útiles en la planificación de potenciales actuaciones por adelantado. La utilidad en situaciones reales se valora menos, con la puntuación más baja para el uso en las fases iniciales de una emergencia.

A pesar de todo, los promotores de estos estudios concluyeron que estas técnicas son instrumentos valiosos para la gestión de la emergencia, tanto en la fase de preparación como en los ejercicios de entrenamiento y revisión de los planes de actuación. Por eso, presentamos dos de estos estudios para ejemplificar y comparar el proceso de toma de decisiones en las fases inicial y final de un accidente.

9.3.2 TALLERES ORIENTADOS A LA DECISIÓN SOBRE ACTUACIONES PROTECTORAS EN LA FASE INICIAL DE UNA EMERGENCIA.

Como parte del proyecto RODOS, se realizaron una serie de talleres orientados a la decisión en Finlandia, lugar en el que se ensayó el sistema RODOS en emergencias nucleares simuladas. Acudieron a las reuniones autoridades nacionales competentes en seguridad y responsables de la toma de decisión en los niveles técnicos, es decir, los que preparan o realizan la presentación de la información necesaria para que los decisores establezcan la estrategia de implantación de acciones.

El caso estudio que se presenta se refiere a un hipotético accidente ocurrido en agosto en la planta de energía nuclear (PEN) de Olkiluoto, situada en Finlandia. El accidente ocasiona daños en el núcleo, dando lugar a la contaminación del medio ambiente.

El caso presentado incluye las incertidumbres, aunque sólo las debidas a las fracciones emitidas. Se asume que el accidente ha ocurrido (probabilidad de ocurrencia del 100%) y que se puede predecir sin incertidumbres la meteorología de las horas siguientes al evento. Lo que no se conoce con seguridad es cuántos productos de fisión se pueden liberar y, en consecuencia, tampoco se sabe con certeza el impacto producido sobre el medio ambiente. Por lo tanto, se calculan distribuciones de probabilidad a partir de las estimaciones realizadas.

Los objetivos de este taller fueron:

- definir los factores y atributos importantes para decidir las contramedidas urgentes, esto es, prescripción de tabletas de yodo, confinamiento y evacuación.
- definir los niveles de intervención, el momento, la duración y el área de aplicación de cada actuación protectora.
- desarrollar una estrategia para esas actuaciones en la totalidad del área afectada teniendo en cuenta las diferencias entre las zonas rurales y urbanas.
- estudiar cómo deben incluirse las incertidumbres en el proceso de análisis y cómo afecta al proceso de toma de decisión.

Se consideraron los siguientes aspectos relacionados con el proceso de toma de decisión:

- construir el árbol de valores.
- estudiar la vinculación con las recomendaciones internacionales para los niveles de intervención.
- estudiar si es posible particularizar la actuación sobre los diferentes grupos de población, p.ej., dar tabletas de yodo, únicamente, a los niños.
- discutir la utilización de la dosis, el número de casos de cáncer o el descenso de la expectativa de vida como atributos de la decisión.

Escenario del accidente

El inicio del evento es la pérdida del suministro eléctrico externo debido a un pequeño terremoto a las 03:00. Dos horas más tarde falla la contención y se libera parte de los productos de fisión al medio. El edificio del reactor se mantiene intacto. La emisión radiactiva dura 12 horas, aunque la tasa de liberación se reduce exponencialmente durante ese tiempo. Se asume que la meteorología es predecible, pero hay incertidumbres respecto a la cantidad y variedad de productos liberados.

Se calcula la distribución acumulada de los grupos de fallo en el confinamiento, estableciendo tres escenarios de emisión, para los percentiles 5, 50 y 95 de dicha distribución. En la tabla 1 se presentan las fracciones resultantes de los productos de fisión para cada uno de estos escenarios. En la figura 1, se muestra el mapa temático de la dosis individual que se obtiene en el escenario del percentil 50.

Tabla 1. Fracciones de emisión asumidas para el accidente hipotético de Olkiluoto, “fallo temprano de contención”.

Grupo de nucleidos	Fracción de emisión		
	Percentil 5	Percentil 50	Percentil 95
Gases nobles	$4,7 \cdot 10^{-1}$	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$5,1 \cdot 10^{-1}$
Yodo total	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$
Grupo de los alcalinos (Cs, Rb)	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$
Grupo del telurio (Te, Se, Sb)	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-2}$
Grupo de los alcalinotérreos (Sr, Ba)	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
Grupo del rutenio (Ru, Mo, Tc)	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Grupo lantánidos (La, Nb, Zr, Cm, Cr, Nd, Sm, Eu, Pu, refr.Ox. Nb, Zr)	$4,6 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$

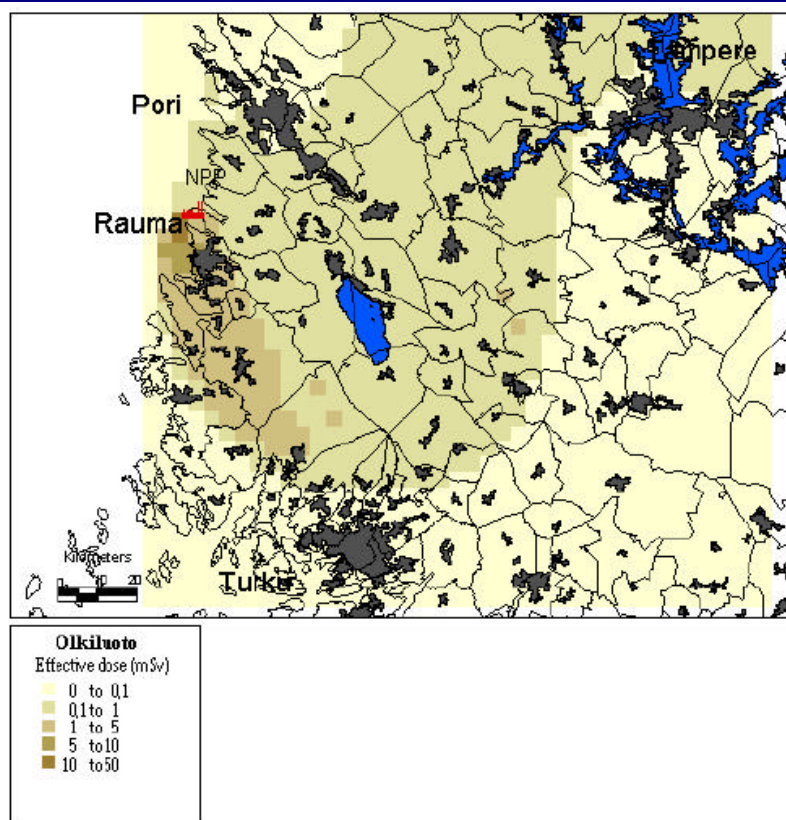


Figura 1. Distribución espacial de la dosis efectiva debida al escenario de emisión del percentil 50.

Desarrollo del taller orientado a la decisión

En una reunión previa se estructura el problema y se plantea el árbol de valores que se muestra en la Figura 2.

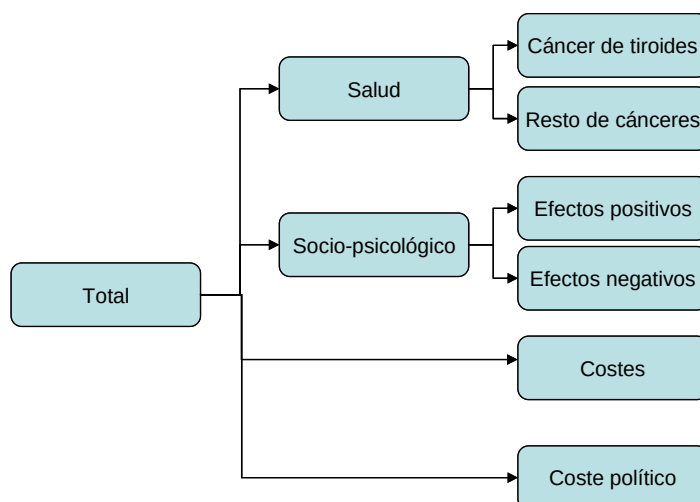


Figura 2. Árbol de valor que se utiliza en la segunda fase del taller.

Los atributos seleccionados se describen en la tabla 2:

Tabla 2. Los atributos, su correspondiente descripción, unidades e intervalo de las medidas.

Atributo	Descripción	Unidad e intervalo
Salud		
Cáncer de tiroides	Cáncer de tiroides en niños	Nº de incidentes de cáncer (0-250)
Resto de cáncer	Otros tipos de cáncer	Nº de incidentes de cáncer (0-350)
Socio-psicológico	Relacionados con la salud y seguridad,	
Efectos positivos	Reafirmación	Sin cambios – muy positivo (0-100, escala relativa)
Efectos negativos	Perturbaciones en las relaciones sociales y estilo de vida	Sin cambios – muy negativo (0-100, escala relativa)
Costes	Costes directos, compensación , protección	0-189 MEuros
Costes Políticos	Confianza del público en las autoridades, seguridad nacional, confianza internacional en Finlandia y en los productos fineses	Sin cambios – muy negativo (0-100, escala relativa)

A continuación se establecieron y analizaron cinco posibles estrategias de actuación:

Estrategia 0: no hacer nada.

Estrategia 1: ingesta de comprimidos de yodo y confinamiento en Rauma – una ciudad de 30.000 habitantes dentro de la zona de 20 km.

Estrategia 2: implementar el confinamiento en Rauma y las zonas cercanas alrededor de la ciudad. Ingesta de comprimidos de yodo en el camino hacia Turku, es decir, a 100 km del emplazamiento.

Estrategia 3: implementar el confinamiento en las mismas zonas que en la Estrategia 2, aunque la ingesta de comprimidos de yodo se incorpora en todas las zonas afectadas por el accidente, es decir, incluyendo ambas ciudades de Rauma y Turku.

Estrategia 4: Evacuar Rauma hasta que la nube haya sobrepasado la zona. Confinamiento e ingesta de comprimidos de yodo durante el paso de la nube.

Se calcularon el número de personas afectadas y el tamaño de la zona en las que se aplican las contramedidas; los resultados se recogen en la Tabla 3.

Tabla 3. Número de personas y tamaño de las zonas afectadas por las estrategias de contramedida planteadas en el taller orientado a la decisión.

Estrategias de contramedida	Área (km ²)	Nº de personas
Estrategia 0		
Confinamiento	0	0
Profilaxis con yodo	0	0
Evacuación	0	0
Estrategia 1		
Confinamiento durante 12 horas	560	40.600
Profilaxis con yodo	560	40.600
Evacuación	0	0

Estrategias de contramedida	Área (km ²)	Nº de personas
Estrategia 2		
Confinamiento durante 12 horas	1.150	56.200
Profilaxis con yodo	3.040	88.500
Evacuación	0	0
Estrategia 3		
Confinamiento durante 12 horas	1.150	56.200
Profilaxis con yodo	26.900	1.023.000
Evacuación	0	0
Estrategia 4		
Confinamiento durante 8 horas	560	40.600
Profilaxis con yodo	560	40.600
Evacuación	560	40.600

El software RODOS calculó los costes económicos y el número de muertes por cáncer, que se tradujeron a continuación en incidentes por cáncer. Los participantes suministraron los impactos de los factores no cuantificables. Los resultados se recogen en la Tabla 4.

Tabla 4. Impactos de cada estrategia sobre los diferentes atributos en la segunda fase de la conferencia de decisión.

Atributo	Unidad	Escenario	Estrategia 1	Estrategia 2	Estrategia 3	Estrategia 4	Estrategia 5
Salud							
Cáncer de tiroides	Incidentes	5%	0	0	0	0	0
		50%	20	5	2	2	4
		95%	240	50	20	20	40
Otros Cánceres	Incidentes	5%	0	0	0	0	0
		50%	22	20	20	20	12
		95%	320	286	288	286	204
Socio-psicológicos							
Efectos positivos	(0-100)	5%	0	100	10	10	0
		50%	0	75	50	45	40
		95%	0	50	90	80	80
Efectos negativos	(0-100)	5%	40	0	90	80	50
		50%	70	40	50	45	35
		95%	100	80	10	10	20
Costes	MEUROS	5%	0	9,7	13,5	13,5	960,2
		50%	11,8	18,7	22,5	22,5	962,9
		95%	166,2	143,1	145,3	144,5	1056,2
Coste político	(0-100)	5%	30	0	0	20	80
		50%	65	40	40	30	50
		95%	100	80	80	40	20

El siguiente paso es poner los pesos a los atributos, para lo que se usan los métodos SMART y de Compensación a partir de las funciones de utilidad de cada uno de los atributos. Sólo las funciones de utilidad para los incidentes de cáncer de tiroides y los costes no son lineales. Los pesos calculados a partir de ambos métodos se presentan en la tabla 5 y las clasificaciones resultantes de las estrategias en la figura 3.

Tabla 5. Los pesos obtenidos durante el desarrollo del taller. Los niveles entre paréntesis corresponden al percentil 95.

Atributos	Nivel de Mínima preferencia	Nivel de Máxima preferencia	SMART	Tradeoff	SMART (95%)
Cáncer tiroides	250	0 (20)	0,328	0,210	0,400
Otros cánceres	400	0 (200)	0,262	0,105	0,120
Efectos positivos	0	100	0,016	0,030	0,040
Efectos negativos	100	0	0,098	0,101	0,080
Costes	1100	0 (100)	0,033	0,050	0,040
Costes políticos	100	0	0,262	0,504	0,320

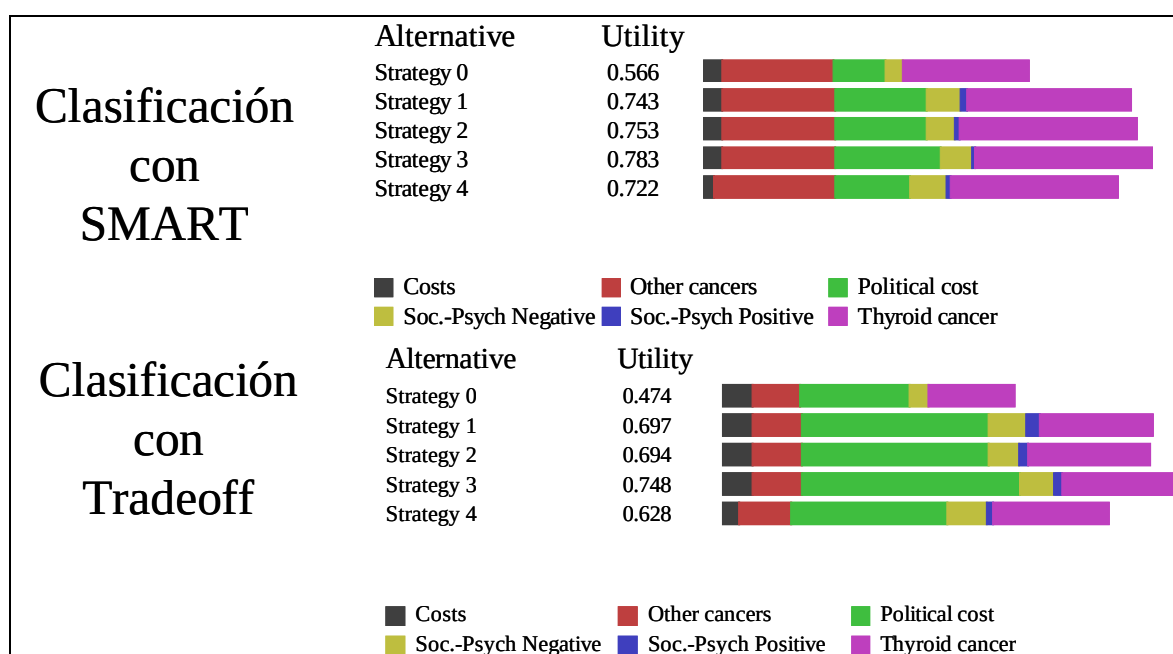


Figura 3. Clasificación obtenida para las estrategias de actuación con los métodos SMART y de Compensación.

Es interesante notar que ambos métodos producen conjuntos de pesos bastante diferentes, y, en consecuencia, las clasificaciones resultantes también lo son. Sin embargo, la estrategia 3 es la mejor alternativa en ambas clasificaciones.

CONCLUSIONES

Existe una clara necesidad de definir los atributos por adelantado, de forma que las personas implicadas comprendan su significado.

Algunos aspectos no se incluyeron en el análisis o su impacto no resultó claro. Muchas veces se destacó que es esencial la manera en que se informa al público acerca del accidente y de las contramedidas tomadas. Las reacciones de las personas dependen de qué información obtienen y cómo interpretan la situación. Además, las contramedidas implementadas y su potencial éxito, también dependen de factores que no están bajo el control de las personas que toman las decisiones.

Tal como se ha mencionado, en las fases iniciales de un accidente, la decisión debe tomarse muy rápidamente. Esto significa que los procedimientos para la toma de decisiones deben ser rápidos y actualizados. Especialmente cuando hay poco tiempo disponible, los procedimientos deben estar muy bien adaptados al usuario previsto. Se ha demostrado que los procedimientos no naturales de toma de decisión no son adecuados en caso de estrés. No importa que los temas se hayan introducido en un soporte de ayuda a la toma de decisión, los usuarios adaptarán los sistemas a sus necesidades y se resistirán, e incluso rehusarán emplear el sistema si no cumple sus expectativas y demandas.

La toma de decisión en mesas redondas es ciertamente útil en las fases finales de un accidente cuando hay tiempo para modelar la situación. Las soluciones alcanzadas en el taller orientado a la decisión de este estudio se supone que deben tomarse en las fases iniciales de un accidente. Puesto que el tiempo es corto, es requisito previo un conocimiento y aceptación común de los procedimientos de análisis de la decisión.

9.3.3 ANÁLISIS DE LA DECISIÓN DE ACTUACIONES DE DESCONTAMINACIÓN EN UN ENTORNO URBANO

Las actuaciones de descontaminación en las áreas urbanas no pueden llevarse a cabo sin el diálogo y consenso entre los interlocutores sociales y los habitantes de las zonas contaminadas. En el ejemplo que vamos a presentar, se estudian las posibles estrategias que se podrían aplicar tras un hipotético accidente radiactivo en una central nuclear. Se han evaluado la eficiencia para reducir la dosis, los costes de las actuaciones, los riesgos para los trabajadores y la viabilidad de las contramedidas. El proceso de toma de decisión ha sido analizado mediante talleres orientados a la decisión a los que asistieron los principales grupos sociales implicados.

El caso estudio utilizado presenta un hipotético accidente en la central nuclear de Loiivisa, situada en Finlandia. Se asume que el área de depósito y el contenido de cesio en el suelo se habían medido durante la primera semana. Algunas medidas sobre la eficiencia de las actuaciones de descontaminación han sido también realizadas. El objetivo del taller, que se asume que se establece una semana después del accidente, es evaluar las actuaciones de limpieza y considerar la extensión de la evacuación de la población de Loiivisa. El taller se enfoca hacia las medidas que se podrían tomar durante las siguientes semanas tras la celebración del mismo.

Los principales objetivos de estos talleres han sido:

- desarrollar métodos para involucrar a los interlocutores sociales en los ejercicios y planificación de las emergencias.
- verificar los factores que conducen el proceso de toma de decisiones.
- explorar la información que necesitan las partes involucradas en la toma de decisión.
- identificar aquellas formas de estrategias que las organizaciones relevantes quieren considerar.

El taller se ha estructurado de la siguiente manera: en primer lugar se describen los eventos que ocurren durante la fase aguda del accidente y las actuaciones tomadas. Sólo se tendrán en cuenta aquellas medidas que son relevantes para la selección de las actuaciones de descontaminación tras una semana del accidente. Se sugieren estrategias

potenciales que puedan ser aplicadas en las zonas contaminadas. Se evalúan, también, los atributos tangibles, como las dosis y los costes monetarios. Posteriormente, se presenta la selección de los atributos, el análisis de la decisión y la discusión de los resultados.

El día del accidente.

Escenario del accidente

El escenario de emisión se establece a partir de un fallo típico de contención para el tipo de Central de Loivisa. Se asume que un accidente había dañado el núcleo, conduciendo a la contaminación de las zonas próximas. La probabilidad de ocurrencia de tal fallo de contención con una emisión significativa de contaminación radiactiva al exterior se estima en menos de 1 entre 1.000.000 por reactor-año para esta Central.

El accidente ocurre en junio, en un día seco con vientos débiles procedentes del sur y suroeste. Comienza con un fuego en una cabina eléctrica provocando la parada del reactor. Cuarenta y tres horas después la contención falla y una cantidad significativa de radionucleidos se libera al medio durante 12 horas con una velocidad de emisión que va descendiendo exponencialmente. Basándose en las medidas se estiman las fracciones de emisión dadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Fracciones de emisión utilizadas en los cálculos de consecuencias.

Grupo de nucleidos	Fracción de emisión
Gases nobles	$8 \cdot 10^{-1}$
Yodo total	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Grupo de los alcalinos (Cs, Rb)	$1 \cdot 10^{-3}$
Grupo del telurio (Te, Se, Sb)	$1 \cdot 10^{-6}$
Grupo de los alcalinotérreos (Sr, Ba)	$< 1 \cdot 10^{-10}$
Grupo del rutenio (Ru, Mo, Tc)	$< 1 \cdot 10^{-10}$
Grupo lantánidos (La, Nb, Zr, Cm, Cr, Nd, Sm, Eu, Pu, refr.Ox. Nb, Zr)	$< 1 \cdot 10^{-10}$

Contramedidas aplicadas en la primera fase del accidente

Las consecuencias de las contramedidas preventivas fueron analizadas y discutidas por expertos en gestión de la emergencia, previamente a la celebración del taller orientado a la decisión. Éstos recomendaron el día del accidente, evacuar a la población de la ciudad de Loivisa y de la zona este de Pernaja. Además, recomendaron el confinamiento durante el paso del penacho y la ingestión preventiva de tabletas de yodo en los siguientes municipios: Ruotsinpyhtää, Lapinjärvi, Liljendal y la zona oeste de Pernaja (Figura 1).

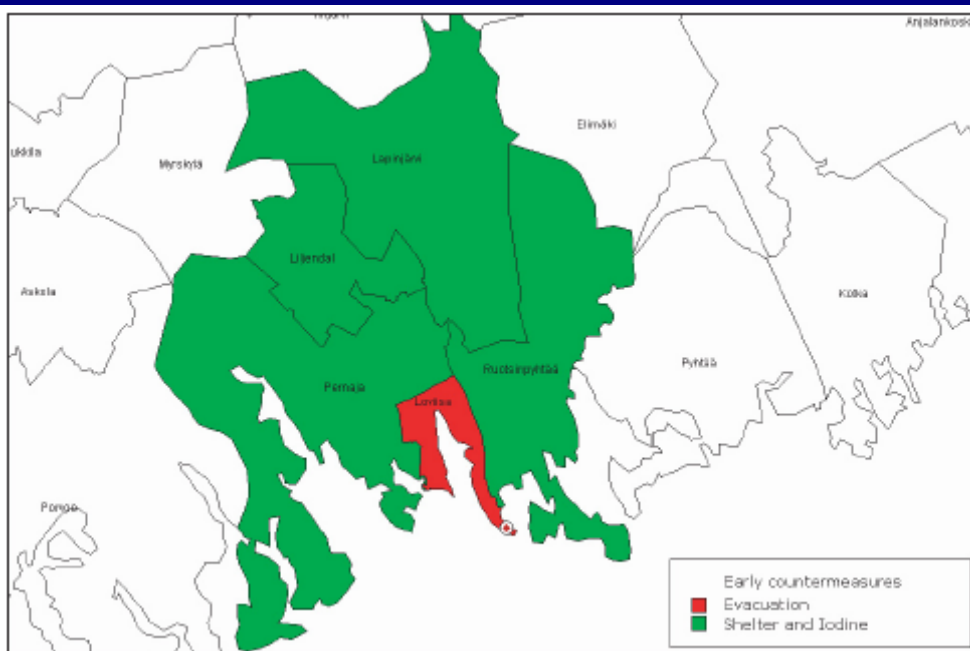


Figura 1. Municipios donde se tomaron las medidas preventivas para proteger a la población.

Evaluaciones previas al desarrollo del taller orientado

El área de depósito

El emplazamiento del hipotético accidente se sitúa 90 km al este de la capital de Finlandia y 10 km al sudeste de la ciudad de Loivisa. Este municipio tiene 7.600 habitantes y aproximadamente un millón más vive en el área ocupada por el depósito (Figura 2, Tabla 2)).

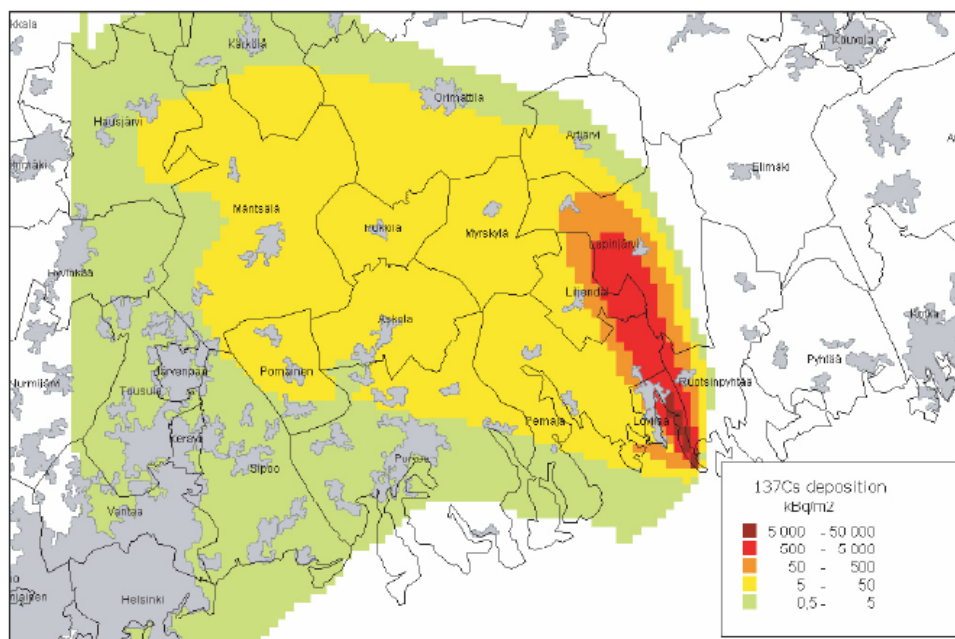


Figura 2. El depósito de cesio, municipios afectados y núcleos de población (áreas grises.)

Tabla 2. Municipios en el área de depósito y número de habitantes.

Artjärvi	1 570	Kerava	30 482	Pemaja	3 783
Askola	4 421	Karkola	4 978	Pomainen	4 186
Espoo	216 836	Lapinjärvi	2 995	Porvoo	45 403
Hausjärvi	8 173	Liljendal	1 464	Pukkila	1 936
Helsinki	559 718	Loviisa	7 498	Riihimäki	26 268
Hyvinkää	42 736	Myrskylä	1 974	Ruotsinpyhtää	2 967
Iitti	7 415	Mäntsälä	16 908	Sipoo	17 760
Järvenpää	36 380	Nurmijärvi	34 029	Tuusula	32 915
Kauniainen	8 543	Orimattila	14 202	Vantaa	179 856

El depósito de ^{134}Cs tiene la misma magnitud que el del ^{137}Cs , mientras que el depósito de ^{131}I fue diez veces superior. En este escenario la dosis proyectada a toda la vida se debe principalmente a los isótopos de cesio. La tasa de dosis fue alta durante la primera semana tras el accidente como consecuencia del depósito de yodo. Esto hay que tenerlo en cuenta cuando se planifiquen las actuaciones de limpieza.

El patrón de depósito de los isótopos de yodo y cesio, la tasa de dosis y las dosis recibidas dentro de la primera semana se calcularon con el sistema RODOS (Ehrhardt 2000).

También se emplean modelos informáticos para evaluar las consecuencias potenciales del accidente y los efectos de las actuaciones de descontaminación. Con el propósito del análisis de las recomendaciones de descontaminación, el área principal de depósito se subdividió en cinco zonas (Áreas NPP y Áreas 1 a 4 de la figura 3) de acuerdo con el depósito de cesio y teniendo en cuenta la división demográfica y administrativa. La Tabla 3 presenta una evaluación de las consecuencias dentro de cada una de estas áreas si no se efectúan labores de descontaminación.

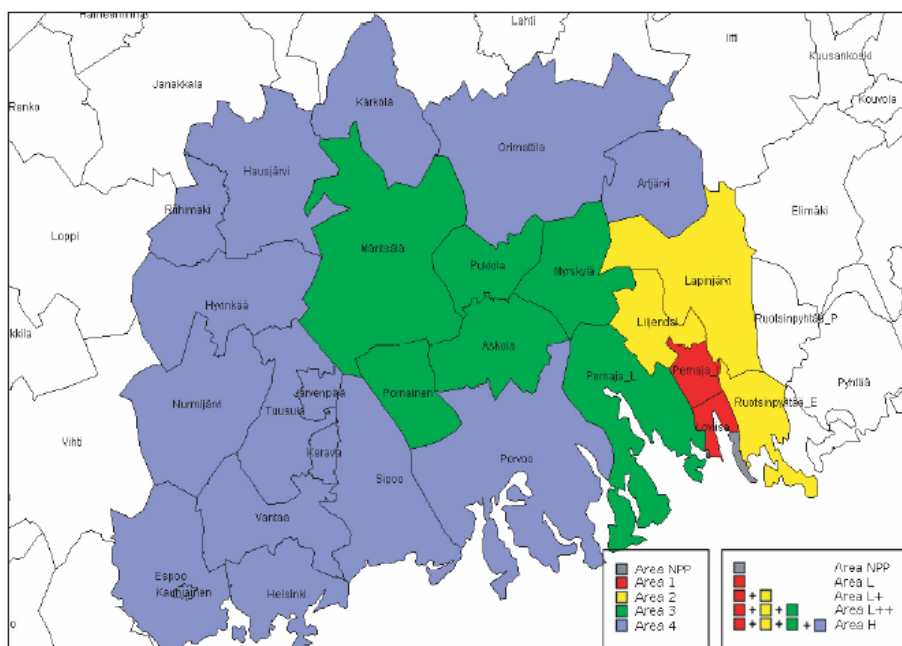


Figura 3. La clasificación del área de depósito para la evaluación de consecuencias.

Tabla 3. Datos clave en las áreas de actuación si no se toman medidas de descontaminación.

Área NPP	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
Población (hab.)	28	8429	6070	29600	1101614
Nº de casas	25	2191	2487	10845	144025
Depósito de ^{137}Cs (kBq / m ²)	7423	1145	273	8	2
Dosis en los días 1–7 (mSv)	19	3	1	0	0
Dosis en los días 7–30 (mSv)	36	5	1	0	0
Dosis en los días 7–365 (mSv)	287	44	11	0	0
Dosis a 70-años(mSv)	2263	213	73	2	0
Dosis colectiva, 70 a. (manSv)	63	1797	440	67	283
Incremento de casos de cáncer	6	180	44	7	28

Técnicas de descontaminación

Existe una amplia variedad de técnicas de descontaminación disponibles para las más variadas superficies. Para desarrollar las estrategias de descontaminación hay que conocer la distribución del material depositado sobre las diferentes superficies y la contribución de cada una de ellas a la dosis total. Además, hay que considerar el coste de la técnica y su viabilidad en términos de disponibilidad del equipo y aceptación social. También, el interés del público por permanecer en sus hogares y los efectos sobre la industria son importantes. Las estrategias a considerar se establecieron en base a la selección de la superficie a limpiar, a la selección de la técnica de limpieza y/o en la extensión del área a descontaminar.

En este escenario se han considerado factibles las siguientes actuaciones: (1) barrido de las calles, (2) lavado de tejados, (3) lavado de paredes, (4) segado de hierba, (5) talado de árboles, (6) rastrillado de la tierra.

Cálculo de consecuencias

Se calculan las dosis externas en diferentes ambientes urbanos, utilizando factores de conversión, dependientes de la clasificación de las áreas habitadas. Las dosis evitables por cada técnica de descontaminación se calculan usando factores de reducción de dosis, dependientes del tipo de depósito y del tipo de casa. Los costes se estiman considerando los costes del trabajo y del equipo. En éstos también se incluyen los costes de transporte, consumibles y el valor de las viviendas y el suelo. Finalmente, se estiman las dosis recibidas por los trabajadores.

Para cada área de depósito se calculan las consecuencias de la aplicación de cada una de las técnicas seleccionadas.

Propuestas de estrategias de actuación y tabla de consecuencias

Antes de iniciar el taller orientado a la decisión se definieron ocho propuestas de estrategias y se evaluaron sus atributos tangibles.

Las estrategias se presentan como combinaciones de las diferentes contramedidas seleccionadas anteriormente en cada una de las áreas de depósito para mostrar en detalle las distintas actuaciones de cada estrategia y mostrar a los participantes cómo pueden definirse nuevas estrategias durante el desarrollo del taller. (Tablas 4 y 5)

Tabla 4. Propuesta de definición de estrategias (ver códigos de color en la figura 3)

Estrategia								
Actuación de limpieza	max	A	B	C	D	E	min	0
Realojo permanente	L							
Evacuación, días 7 – 30		L	L	L	L			
Evacuación, días 7 – 14						L		
Lavado de casas	L++	L++	L++	L+	L	L		
Barrido de calles	H	H	H	L++	L+	L	L	
Talado de la vegetación	L++	L++	L++	L+	L	L		
Segado de la hierba	H	H	L++	L++	L+	L	L	
Rastrillado del suelo	L++	L+	L+	L	L	L		
L incluye Loviisa y la parte este de Pernaja; L+ incluye, además de L: Liljendal, Lapinjärvi y la parte sur de Ruotsinpyhtää; L++ incluye, además de L+: la parte oeste de Pernaja, Myrskylä, Askola, Pukkila, Pornainen y Mäntsälä; H incluye, además de L++: Artjärvi, Orimattila, Kärkölä, Hausjärvi, Riihimäki, Hyvinkää, Porvoo, Sipoo, Järvenpää, Kerava, Tuusula, Nurmijärvi, Vantaa, Espoo, Kauniaiainen y Helsinki. Notas: • Área NPP sufre una reubicación en cada estrategia • La hierba no se corta en las áreas donde la superficie del suelo es escasa. • En la Estrategia max no se realizan actuaciones de limpieza fuera del área L								

Tabla 5. Consecuencias para la salud y costes de las estrategias.

Estrategia								
Atributos	max	A	B	C	D	E	min	0
Incidentes de cáncer	36	83	94	114	120	210	231	261
Incidentes de cáncer evitados	225	178	167	147	141	51	30	0
Costes actuaciones de limpieza (M €)	22	17	9	4	2	1	0	0
Costes de realojo (M €)	5 100	16	16	16	16	6	0	0
Costes totales (M €)	5 122	33	25	20	19	6	0	0
Nota. Las medidas tomadas durante la primera semana no están incluidas en los números.								

Desarrollo del taller orientado a la decisión una semana después del accidente

El sistema de apoyo al análisis de la decisión Web-HIPRE se utilizó para modelar la decisión y analizar los resultados. Proporciona una aproximación basada en la teoría de valor multiatributo (MAVT) para modelar las preferencias individuales de los decisores. También facilita la agregación de modelos individuales en un modelo de grupo, lo que lo convierte en una herramienta favorable para utilizarse en el taller. Antes del taller, las técnicas potenciales de limpieza y la evaluación de consecuencias de las estrategias propuestas son repartidas a todos los participantes. Finalmente, todos los aspectos relevantes se agruparon en diferentes categorías (Tabla 6) que formarán la base para el árbol de valor. Se realizaron los necesarios reajustes para determinar el árbol de valor de la figura 4.

En la técnica utilizada, se valora la utilidad con un uno a la estrategia más preferida respecto a cada atributo y la menos preferida con un cero. Las demás estrategias se valoran entre cero y uno, de acuerdo a su nivel de ejecución. Para poner valores en los atributos no mensurables se ponderan de acuerdo a su importancia.

Finalmente, las preferencias de los decisores respecto a las estrategias se incorporan a los valores totales de las estrategias. Se derivan mediante un modelo aditivo. Como resultado, cada grupo obtendrá valores globales para las estrategias que reflejen sus juicios de preferencia.

Tabla 6. Desarrollo y definición de los atributos.

Objetivo principal: Medio ambiente residencial saludable

Salud

Efectos deterministas de la radiación sobre la salud: Ninguno

Accidentes ocupacionales: Algunos, aunque sin valor significativo. Muy pocos nuevos accidentes de tráfico.

Otros accidentes: Algunos accidentes menores.

Incidentes de cáncer: Calculados sobre 70 años. Se compararán con aquellos provocados por el radón que entra en las casa desde el suelos. Durante el mismo periodo en Loviisa hubo cerca de 100.

Perturbaciones mentales inmediatas: Apoyo a la crisis y asistencia. Los intereses generales se tratan bajo los atributos socio-psicológicos.

Socio-psicológicos

Comunicación/Media: Comunicación activa es de vital importancia, poniendo gran interés en ello. Puede fallar en las horas iniciales aunque también en la última fase.

Seguridad/consuelo: Se tienen en cuenta aspectos internacionales así como:

- Credibilidad de las contramedidas
- Credibilidad de las autoridades

Ansiedad de la población Los efectos de actuaciones excesivas serán considerados también.

Medio ambiente

Medio ambiente residencial: Calidad de vida después de las actuaciones de limpieza.

Alrededores: Restricciones en el consumo de caza, hongos y bayas.

Naturaleza: Las medidas de descontaminación disminuirán la contaminación residual en la naturaleza.

Vías de agua: La contaminación que fluye hacia el mar se diluirá en niveles insignificantes de radiactividad.

Recursos de agua de bebida: Se pueden proteger. Los residuos contaminados se localizarán lejos de las tuberías de agua corriente.

Paso del tiempo: La vegetación se regenerará.

Economía

Mercado exterior: Credibilidad de la seguridad de los productos. Pueden estar influidos por las contramedidas?.

Mantenimiento de la industria y el empleo: Las pérdidas de ingresos serán compensados.

Reputación internacional

Pérdida de valor adquisitivo y de las propiedades. Si hay pérdidas de empresas serán compensadas, excepto en caso de realojo voluntario.

Distribución de edad : Una alta proporción de personas jubiladas.

Realojo voluntaria de la población: Podría tener lugar al principio.

Costes directos de la limpieza: Financiación proveniente de las indemnizaciones pueden obtenerse de convenciones internacionales, que cubriría todas las actuaciones de limpieza.

Aspectos técnicos

Viabilidad técnica: Si se planifican bien las actuaciones de limpieza se podrán implantar.

Adecuación de la mano de obra: El número de trabajadores necesarios no es demasiado alto.

Disponibilidad de la limpieza y otro equipamiento: Sin problemas.

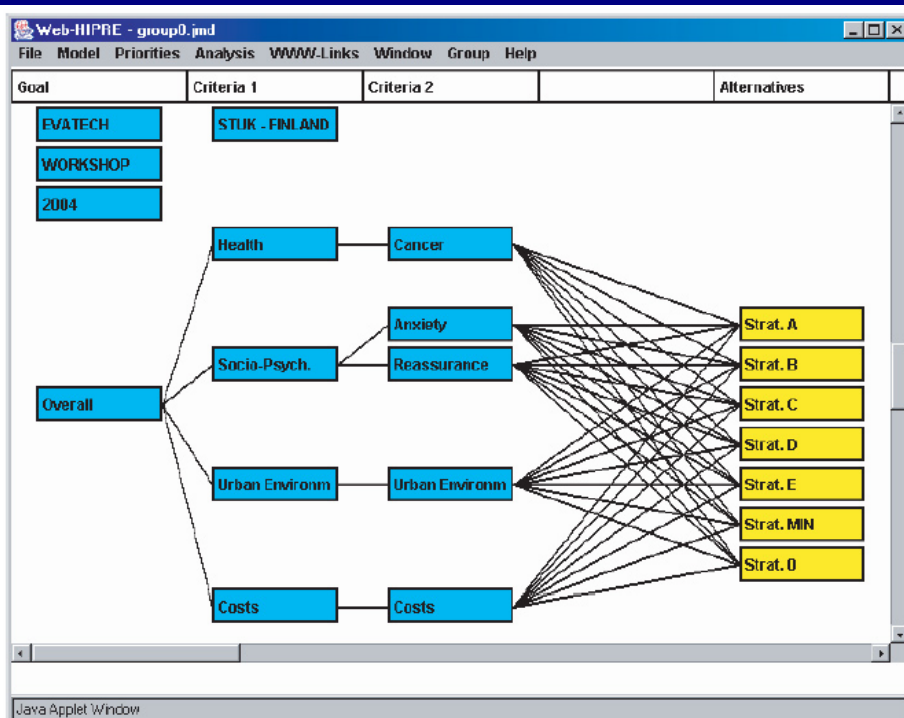


Figura 4. El árbol de valor desarrollado y utilizado en el análisis.

9.3.4 BIBLIOGRAFÍA

1. Sinkko, K. Nuclear emergency response planning based on participatory Decision analytic approaches. STUK A207. STUK • Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland. 60 pp. October 2004.
2. Sinkko, K.; Hämäläinen, R. P.; Hänninen, R. Experiences in methods to involve key players in planning protective actions in the case of a nuclear accident. Radiation Protection Dosimetry, 109(1-2):127-132. 2004.
3. Hämäläinen, R. P.; Sinkko, K.; Lindstedt, M.; Ammann, M.; Salo, A. RODOS and decision conferencing on early phase protective actions in Finland. STUK-A159. STUK • Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland. 57 pp. December 1998.
4. Hämäläinen, R. P.; Sinkko, K.; Lindstedt, M.; Ammann, M.; Salo, A. Decision analysis interviews on protective actions in Finland supported by the RODOS system. STUK-A173. STUK • Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland. 68 pp. February 2000.
5. Sinkko, K.; Ammann, M.; Hämäläinen, R.P.; Mustajoki, J. Facilitated workshop on clean-up actions in inhabited areas in Finland after an accidental release of radionuclides. STUK A214. STUK • Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki, Finland. 54 pp. December 2005.
6. Ehrhardt J, Weis A (eds). RODOS: Decision support system for off-site nuclear emergency management in Europe. EUR 19144 EN. European Commission; 2000.
7. International Commission on Radiological Protection. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82 (Oxford Pergamon Press). 2000.
8. Nuclear Energy Agency. The Way Forward in Radiological Protection. An expert group report. OECD/NEA 2002.