

Formación en emergencias y accidentes severos (situación actual y futuro tras Fukushima)

R. J. Caro, J.L. Delgado, R. Martínez Fanegas
y F. González Áñez

Tras Fukushima la capacitación del personal en la respuesta a emergencias ha tomado una renovada relevancia para hacer frente con éxito a las diversas situaciones accidentales que pueden darse en las centrales nucleares. En este trabajo, los autores revisan los aspectos fundamentales de la Formación, considerando desde el proceso formativo hasta, los principales contenidos, incluyendo las herramientas tecnológicas y metodológicas empleadas.

El *know-how* adquirido en el entrenamiento del personal de las centrales nucleares y en el desarrollo y aplicación de nuevos métodos y herramientas, permite analizar la evolución que sufrirá la formación, contribuyendo más aún a la seguridad nuclear.

After Fukushima, training in emergency response has got a renewed meaning to cope successfully with accidental scenarios that can occur in nuclear power plants.

The authors in this paper review the fundamentals of training, considering from the training process to the main contents, including the main technological and methodological tools.

The know-how acquired in training the NPP's staff and the development and in application of new methods and tools, allows analyzing the evolution expected in training, to better contribute to the Nuclear Safety.

INTRODUCCIÓN

El accidente de Fukushima puso de manifiesto que la capacitación específica del personal es vital para hacer frente con éxito a las diversas situaciones de emergencia que pueden darse en las centrales nucleares.

En este artículo se hace un repaso de los principales rasgos de este tipo de formación, describiendo su estructura, los principales contenidos y las herramientas empleadas.

La experiencia a lo largo de los últimos años en el desarrollo y aplicación de nuevos métodos y herramientas en este campo permite pronosticar hacia dónde y cómo orientar los nuevos enfoques en la formación para contribuir a la seguridad en los casos de situaciones reales de emergencia.

EL ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DE OPERACIÓN EN SITUACIONES DE EMERGENCIA

Entrenamiento de los equipos de Operación. Situación actual

Los Procedimientos o Instrucciones de Operación de Emergencia (POE/IOE) contienen las acciones que deben realizar los equipos de operación para recuperar la central en el caso de producirse cualquiera de los accidentes postulados en los documentos de licenciamiento de la central. La capacitación de estos equipos para el correcto seguimiento de los diferentes caminos de recuperación, postulados en la red de los POE/IOE, constituye uno de los objetivos fundamentales de sus programas de entrenamiento.

RAFAEL J. CARO

es Físico por la UAM, MBA (IT) por la E.T.S.I. de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid y DEA en Ingeniería Automática e Informática de la UNED. En Tecomat desde su ingreso en I+D en 1993, trabajó durante 10 años en el área de Simulación, en la actualidad desarrolla su labor en el área de Apoyo a la Emergencias. Es el responsable de Proyecto CAE y de los proyectos de apoyo a los Planes de Emergencia de centrales nucleares españolas en respuesta a las lecciones aprendidas de Fukushima, así como de otros de proyectos de innovación y desarrollo.

JOSÉ LUIS DELGADO

es Ingeniero Industrial de Organización e Ingeniero Técnico Industrial por la UPM. Obtuvo la certificación de Instructor de Operación de Tecomat en 1988 y desde entonces ha trabajado en proyectos de Formación y de Apoyo a la Explotación en centrales nucleares. En la actualidad es Gerente del Área de Formación Nuclear de Tecomat.

RAFAEL MARTÍNEZ FANEAGAS

es Ingeniero Industrial por la ETSII-Madrid. Durante 1974-1984 ha trabajado en el Ciemat, en el campo de Análisis de Accidentes. Comenzó en Tecomat en 1984 en la División de Simulación y desde principios de 1999 trabaja en la División de Apoyo a Explotación y Emergencias, siendo responsable de Proyectos de Apoyo a Emergencias y Accidentes. Ha participado en el desarrollo de los programas de Implantación y Formación de las Guías de Gestión de Accidentes Severos en diferentes centrales españolas. Es miembro del Grupo de Trabajo "Análisis y Gestión de Accidentes" de la OCDE.

FRANCISCO GONZÁLEZ ÁÑEZ

es Ingeniero Industrial, especialidad Técnicas Energéticas por la ETSII de Madrid, Diplomado por el OIEA en la realización de APS y Máster en Gestión de la Formación por Cesma. Empezó sus trabajos en 1983 en el departamento de Seguridad Nuclear de Empresarios Agrupados, continuando en el Ciemat en 1986 en proyectos relacionados con desarrollos de metodología en Análisis Probabilísticos de Seguridad. Desde 1988 trabaja en Tecomat, siendo actualmente responsable de la Organización de Medios y Métodos de Formación.



Figura 1. Formación inicial en el simulador de sala de control.

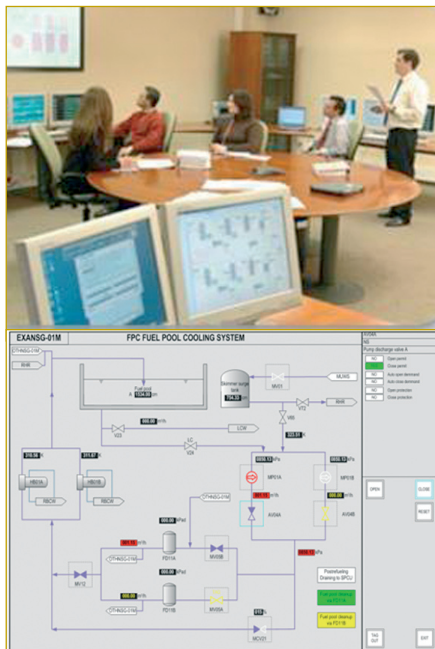


Figura 2. Formación en el simulador gráfico interactivo.

Los programas de capacitación y reentrenamiento de los componentes del turno de sala de control y del personal de operación auxiliar de planta constan de módulos teóricos y prácticos, que están orientados a dotarles de los conocimientos y habilidades necesarios para su respuesta en estas situaciones.

Los planes de capacitación inicial de los operadores de sala de control consumen una media de 200 horas teóricas en el estudio específico de situaciones de accidentes y más de 180 horas prácticas en un simulador réplica o de alcance total de la sala de control, siendo este último entorno empleado también por el CSN para los exámenes de concesión de las licencias de operación.

Los simuladores de alcance total constituyen un medio esencial para el entrenamiento en situaciones accidentales. Permiten simular los accidentes base de diseño y malfunciones en la planta. Son réplica de las salas de control reales y se entrenan escenarios de accidente utilizando los POE/IOE. El simulador gráfico



Figura 3. Simulador de campo.

interactivo ofrece la misma respuesta pero presenta la información a través de gráficos y diagramas, facilitando el análisis de las respuestas de la planta y de los sistemas, por lo que constituye una herramienta de formación empleada para estos objetivos en la formación inicial y continua de los operadores.

Una vez obtenida la licencia, los componentes del turno se reentrenan anualmente en estas situaciones. En estos programas de formación se dedican entre 20 y 40 horas anuales de entrenamiento en simulador y 100 horas mínimas en lectivas. De este tiempo, en torno a un 30% se dedica a aspectos relacionados con los POE.

En la mayoría de las situaciones accidentales también se requiere la realización de ciertas acciones locales en la central. Estas son realizadas por los auxiliares de operación, que reciben entrenamiento inicial en sesiones lectivas y son entrenados en las tareas locales de emergencia antes de ocupar el puesto. Estas tareas también son objeto de reentrenamiento como parte de los programas de formación continua,

realizando prácticas en planta sobre los equipos y sistemas sobre las acciones locales recogidas en los POE/IOE.

Entrenamiento de los equipos de operación. Futuro

Los métodos y medios de formación evolucionan buscando la máxima eficiencia, orientándose a la ejecución de las tareas y en entornos formativos próximos a las condiciones reales de la planta.

Un ejemplo de este tipo de entornos son los simuladores de campo. Constituyen unas instalaciones de formación diseñadas y desarrolladas para simular la realización de trabajos en las condiciones de la central. En este tipo de instalaciones se podrían disponer equipos reales, iguales que los existentes en la central, y simular las condiciones de trabajo presentes en una emergencia. De ese modo, determinadas tareas que se ejecutarían en condiciones de emergencia, importantes para la seguridad y cuya complejidad requiere su reentrenamiento, podrían ser entrenadas, garantizando la cualificación de los trabajadores.

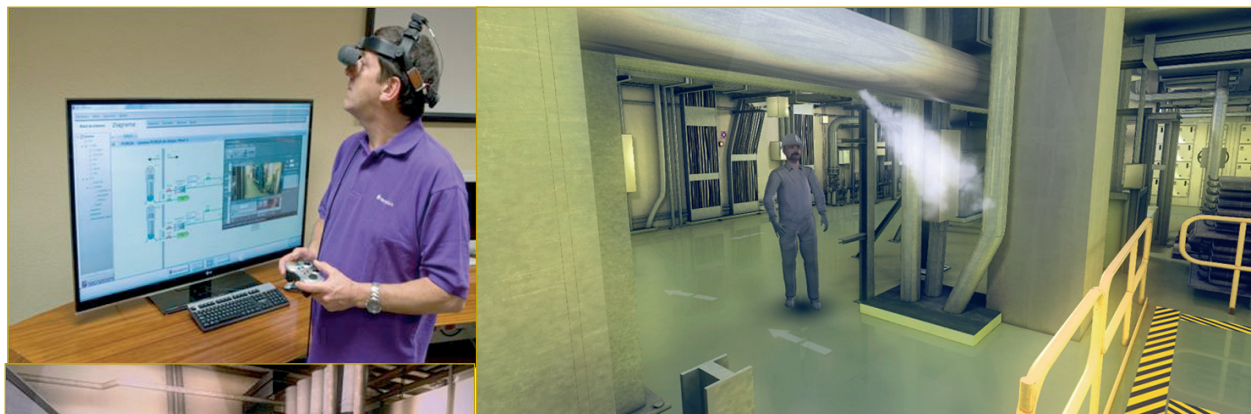


Figura 4. Realidad Virtual.

ENTRENAMIENTO EN ACCIDENTES SEVEROS

Guías de Gestión de Accidentes Severos y su impacto en el entrenamiento

Tras la implantación de las Guías de Gestión de Accidentes Severos (GGAS) en las plantas españolas (diciembre del 2000) se procedió a la revisión de los planes de formación del personal responsable de su gestión, es decir, a los responsables de los grupos de Control Radiológico, Evaluación y Dirección, así como a los supervisores de Operación en su calidad de posibles directores de Emergencia y componentes del Grupo de Evaluación. Además de la revisión de su plan de formación inicial, se actuó en los planes de reentrenamiento. Adicionalmente se preparó un plan de reentrenamiento anual basado principalmente en la realización de ejercicios de gestión de accidentes severos con el seguimiento y ejecución de las GGAS.

El objetivo general en el reentrenamiento en accidentes es mantener y actualizar los conocimientos relacionados con la fenomenología y gestión de los mismos, así como las actuaciones de los distintos grupos del personal de planta. Este objetivo se plasma en dos aspectos básicos: recordar las reglas de uso de guías y procedimientos implicados y evaluación de los escenarios simulados.

Durante este periodo se ha cubierto el panorama completo de Guías de Gestión de Accidentes Severos (GGAS) y Riesgo Severo (GGRS), así como ayudas de cálculo y las diferentes transiciones desde los procedimientos o instrucciones de operación de emergencia (POE/IOE).

Cada reentrenamiento anual en accidentes severos se ha ajustado al siguiente programa:

- Recordatorio de la fenomenología física del accidente severo, con especial énfasis en los aspectos diferenciadores que supone una situación de núcleo degradado.
- Descripción del uso general de las herramientas del Centro de Apoyo Técnico, CAT, para la gestión del accidente severo: reglas de uso de las guías, incluyendo las diferentes transiciones desde POE/IOE, diagramas de diagnóstico y estrategias incluidas en las Guías de Gestión de Accidentes Severos (GGAS) y en las de Riesgo Severo (GGRS) con sus principales diferencias.
- Ejercicio práctico de aplicación de dichas herramientas, de forma similar a lo indicado con anterioridad para el entrenamiento sin degradación del núcleo.

Las lecciones aprendidas en la ejecución del entrenamiento anual han sido analizadas y consideradas en los reentrenamientos siguientes resaltándose principalmente la importancia de ejercicios dinámicos con un grado de participación cada vez mayor del personal implicado, potenciando el uso de herramientas que mejoren la efectividad de estos entrenamientos.

Herramientas de apoyo a la gestión de accidentes severos y su aplicación en el entrenamiento

Tecnatom ha desarrollado recientemente una herramienta informática de apoyo al CAT con el objetivo del seguimiento eficaz de las GGAS por parte del mismo. Esta iniciativa está en consonancia con la mejora y actualización de las herramientas del CAT, tanto desde el punto de vista de software como de hardware, que se está llevando a cabo en las centrales españolas.

Las herramientas informáticas de "Ayuda al CAT en la gestión de acci-

Los simuladores de alcance total también están evolucionando para mejorar la información y entendimiento de la fenomenología del los escenarios de emergencia. Representaciones visuales en tres dimensiones de las condiciones en la barrera de presión y en contención se irán incorporando en los modelos de simulación.

Finalmente la evolución rápida de la tecnología de realidad virtual y realidad aumentada permitirá entrenar en tareas de campo mediante modelos virtuales en 3D de la central. Se ha desarrollado recientemente una herramienta de acopla el simulador de alcance total con los modelos 3D de la central. Se integran las acciones en la sala de control con las acciones en campo de los auxiliares de operación.

En este ambiente inmersivo, el auxiliar de operación se mueve y actúa en el planta de una forma similar a como el operador actúa en el simulador de la sala de control. La herramienta funciona de forma bidireccional, intercambiando información con el simulador de alcance total. Las acciones realizadas por el operador de campo impactarán en el sistema y las acciones tomadas por el operador en el simulador cambiarán la información que observa el auxiliar en el sistema virtual. De esta forma operadores y auxiliares de campo pueden coordinar y entrenar sus actividades como un equipo.



Figura 5. Condiciones y estado del componente.

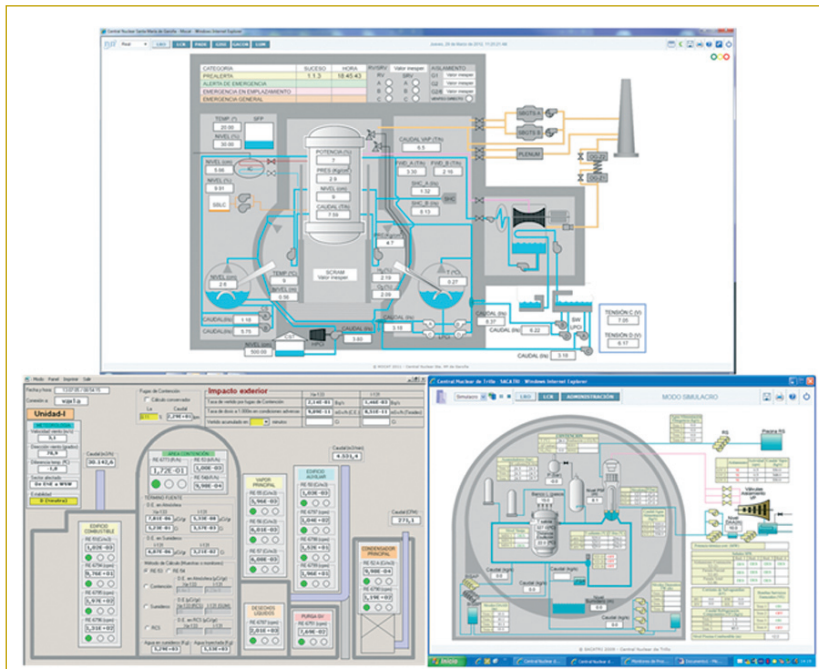


Figura 6. Lámina del responsable de Operación de MOCAT, SACAT y SACATRI.

dentes severos" (informatización de GGAS) tienen como objetivo básico la ayuda al CAT en situación de emergencia en la que fuera necesario utilizar las guías de gestión de accidentes severos.

Su objetivo no es, en modo alguno, cambiar, o sustituir, la manera de seguir la gestión de un accidente severo si no, más bien, todo lo contrario. Se pretende reforzar la forma actual de gestión con una aplicación que ofrezca a los evaluadores un modo alternativo de verificación a través de:

- Una visión global de todas las guías disponibles, con un tránsito sencillo entre ellas.
- Una forma fácil de consultar anexos o ayudas de cálculo durante el seguimiento de una guía.
- Una vía para comprobar el estado y la disponibilidad de todos los equipos y estrategias previstas en las GGAS.

La aplicación muestra la posibilidad de funcionamiento en modo "simulacro" o en modo "real", atendiendo a la procedencia de las variables utilizadas: variables de que dispone

el *Safety Parameters Display System* (SPDS) en planta en tiempo real y, por otra parte, es posible la carga de escenarios ficticios previamente calculados o diseñados con fines de entrenamiento en la gestión de emergencias.

La aplicación se encuentra dividida en varios módulos: diagramas de diagnóstico, árbol de guías y estrategias, árbol de elementos/componentes y panel de visualización de guías.

Se trata de un explorador de equipos, señales, requisitos y estrategias. Desde él se puede acceder tanto a las estrategias previstas en las GGAS como a todos los elementos (equipos, señales y requisitos) que determinan su disponibilidad y su estado.

La identificación de los equipos muestra el estado en que se encuentran: abiertos o arrancados y cerrados o parados, así como el grado de disponibilidad. Al actuar sobre ellos, aparece toda la información de los mismos, siendo posible su modificación por parte del usuario.

De la misma forma que en el caso de un elemento, cada estrategia contenida en las guías, que está compuesta por una serie de elementos, muestra también su disponibilidad y estado pudiendo identificarse los distintos elementos que la constituyen.

La utilización de herramientas informáticas sencillas de uso para el CAT es un paso muy importante para una mejora sustancial del proceso.

ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DEL CAT Y SIMULACROS

Situación actual

El reglamento de instalaciones nucleares y radiactivas establece el Plan de Emergencia Interior (PEI) como documento preceptivo de licencia y la Guía de Seguridad 1.3 del CSN establece las directrices para su elaboración. En el PEI se describen las previsiones del titular para mitigar las consecuencias de los accidentes, que se estructura en dos frentes paralelos; desde la sala de control, donde se desarrolla la respuesta ya descrita anteriormente y desde el Centro de Apoyo Técnico, CAT.

Desde el CAT se dirige la respuesta a la emergencia, apoyando a la

¹Proyecto Mocat: innovación aplicada a la mejora de la gestión de las emergencias en la central nuclear de Garoña. R.J. Caro y J.L. Callejo. Nuclear España, nº 301, noviembre 2009.

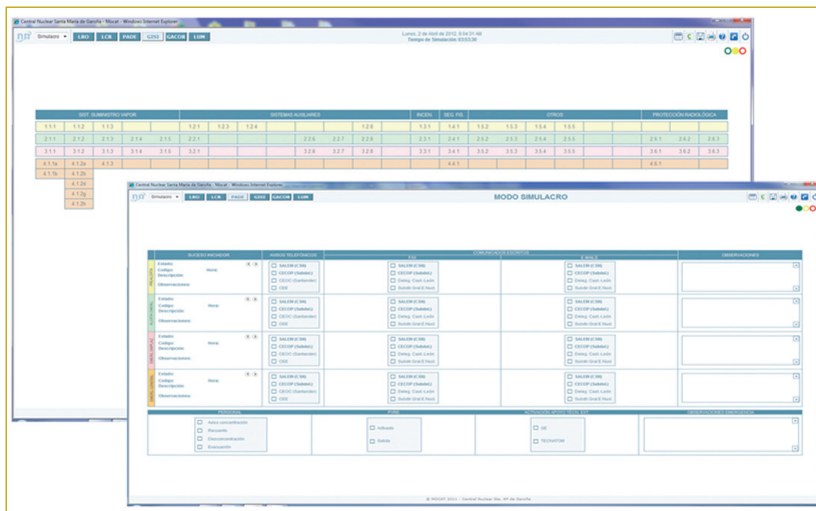


Figura 7. Panel del Director del PEI.

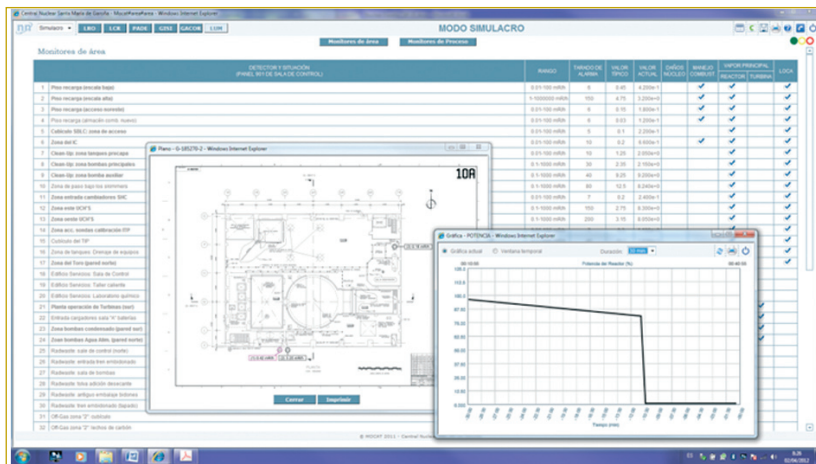


Figura 8. Lamina de Ubicación de Monitores, con plano y gráfica de variable.

sala de control y evaluando la situación para tomar las medidas adecuadas, para lo que cuenta con una organización y personal definido, así como procedimientos y equipos específicos, sistemas de información y de comunicaciones propios. El CAT está constituido por personal de diferentes disciplinas y organizaciones de la central (operación, control radiológico, logística, mantenimiento y evaluación).

Desde hace algunos años, las centrales nucleares españolas están llevando a cabo un proceso de modernización¹ desarrollando sistemas avanzados de información y apoyo a la toma de decisiones, para la adopción de medidas y seguimiento de la evolución de la emergencia. Estas herramientas avanzadas consisten en la integración del *know-how* acumulado en la gestión de la emergencia con las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, con el objetivo primario de apoyar a los responsables del CAT y resto de personal aso-

ciado a la respuesta a la emergencia en los distintos centros.

Las herramientas avanzadas de apoyo al CAT se estructuran en dos grandes bloques conceptuales, en primer lugar el denominado *Sistema de Información del CAT* y el segundo bloque, más avanzado, que consiste en la informatización de las guías de los responsables de las distintas áreas del CAT así como en herramientas específicas que proporcionan apoyo a procesos concretos.

Incluida en el PEI y desarrollada en sus procedimientos, la formación del personal del CAT es un aspecto fundamental y muy exigente. Todas estas personas reciben, como parte de su capacitación inicial, la formación teórica tanto en accidentes como en los planes de emergencia de la central. El reentrenamiento se estructura en formación general y específica e incluye tanto formación teórica como práctica, como indica la mencionada Guía 1.3 del CSN.

Dentro de la formación teórica general se puede mencionar la formación en el plan de emergencia interior o la formación en accidentes severos que se organiza en cursos de frecuencia anual de duración proporcional a la responsabilidad en la emergencia del personal a que va destinada. La formación específica se diseña para cubrir cada una de las áreas de la respuesta a emergencia de la planta y va dirigida al personal responsable de la misma, existiendo formación específica para, por mencionar solo algunos, los responsables del CAT, para el Área de Operación, de Control Radiológico, de Logística, Mantenimiento, de Evaluación, así como para los distintos centros y organizaciones de respuesta a emergencias.

La formación práctica se basa en ejercicios de entrenamiento en los que, con distintos alcances, se hace frente a escenarios que plantean situaciones simuladas de emergencia. Estos escenarios se desarrollan con el uso mixto de los simuladores, las herramientas avanzadas de apoyo al CAT y de control radiológico (Rascal). Una de las ventajas más significativas de las herramientas de apoyo descritas es su capacidad para trabajar en modo simulación, permitiendo el entrenamiento del personal en entornos análogos a los reales, con la ventaja añadida de permitir de forma relativamente sencilla la simulación de accidentes más allá de diseño, con daño al núcleo, fuera del alcance de los simuladores actuales.

Esta formación que es responsabilidad del coordinador del PEI, sigue un riguroso control de calidad y es supervisada por el CSN. En particular, la capacidad de respuesta se demuestra anualmente en un simulacro ante el CSN. Este simulacro, indicado en la referida Guía 1.3 y cuyos requisitos se desarrollan en una guía de seguridad propia, la GS-1.9 *Simulacros y ejercicios de emergencia en centrales nucleares*, tiene por objeto verificar la idoneidad del PEI y mejorar su eficacia.

Futuro: La formación en emergencias con daño extenso

Tras los sucesos acaecidos en la central nuclear de Fukushima-Daiichi, la formación evolucionará para contemplar escenarios con daños que afecten a grandes áreas de la planta, considerados más allá de base de diseño y denominados genéricamente de *daño extenso*. Se considera que los

fundamentos de la preparación para emergencias siguen siendo válidos en la respuesta a una emergencia de carácter extenso, aunque existen ciertas características diferenciales que recomiendan el desarrollo de una formación específica, incluyendo simulacros y ejercicios.

Las consecuencias potenciales más graves de una emergencia en una central nuclear están asociadas con los daños para la salud, la naturaleza o la propiedad que pueden producir las emisiones de material radiactivo. En este sentido no hay diferencia con las emergencias convencionales. Sin embargo, se pueden discernir algunas diferencias importantes, como son:

- a. La organización de respuesta de la planta puede verse afectada.
- b. Las medidas de respuesta deben considerar la potencial pérdida de grandes áreas de planta, incluidos equipos, sistemas, instrumentación, alimentación e incluso pueden afectar al personal del emplazamiento.
- c. Pueden verse implicadas muchas organizaciones de respuesta.
- d. Existe una mayor necesidad de coordinación: de las capacidades médicas, de servicios de respuesta especializados y de un gran número de organizaciones, a todos los niveles.
- e. La duración de la emergencia.

Así, los objetivos de la formación deberán centrarse en los aspectos característicos de estas situaciones y los ejercicios y prácticas deben ser definidos considerando las características especiales de las emergencias con daño extenso.

La formación

La formación específica para hacer frente a situaciones de emergencia catastrófica incluirá los siguientes aspectos u objetivos de aprendizaje:

1. **Evaluación del daño.** Entrenamiento en la evaluación de la situación, así como en la toma de decisiones sobre las medidas iniciales, incluyendo la interfaz entre operación y el resto de organizaciones.
2. **La notificación,** cuyo entrenamiento se considerará específicamente.
3. **Acciones de protección,** considerando situaciones en las que la respuesta habitual se ve alterada. Algunas de las medidas más relevantes a entrenar:

- a. La activación de la ORE² a instalaciones alternativas y la respuesta inicial.
- b. Medidas de protección del personal en el emplazamiento.
- c. Concentración y recuento, considerando la posible dispersión del personal de operación.
- d. La evacuación y las vías de evacuación disponibles.

4. **Acciones iniciales de operación.** Se considerará especialmente el diagnóstico de estado de la planta, las acciones de mitigación y recuperación y su gestión desde instalaciones alternativas, además de entrenar el apoyo de la ORE a operación.

5. **Medidas de mitigación.** Se incluirán el uso de recursos y equipos alternativos y la coordinación desde los centros alternativos de respuesta y operación.

6. Comunicaciones:

- a. El uso de los equipos, incluidos los alternativos.
- b. Las comunicaciones iniciales con las organizaciones exteriores.
- c. La coordinación de los recursos y el control de accesos.
- d. La gestión de un número elevado de afectados.

Ejercicios y simulacros

Uno de los aspectos más importantes es la formación práctica en las características particulares de una situación de emergencia con daño extenso. Se clasifican los principales puntos susceptibles de ser incluidos en los ejercicios en tres niveles.

El **primer nivel** incluirá aspectos más relacionados con la gestión, tales como:

- a. Mejora de la capacidad de coordinación.
- b. Entrenamiento de las capacidades de los servicios especializados.
- c. La capacidad para trabajar situaciones con un gran estrés asociado.

El **segundo nivel** tratará aspectos más concretos, pero aún adecuados para entrenar en ejercicios tipo mesa de discusión, como:

- a. Evaluación del estado de la planta.
- b. Comunicación efectiva del estado de la planta y de la respuesta, a la ORE.

- c. Planificar las medidas de protección.
- d. Activar los servicios médicos e instalaciones de apoyo.

Por último, los objetivos del **tercer nivel**, de respuesta en campo, serán:

- a. Establecer un sistema eficaz de dirección y control de la emergencia.
- b. La aplicación de adecuadas medidas protección y operación.
- c. El acceso y despliegue rápido de los actuantes.
- d. Designación de las áreas de triage.
- e. La protección de los actuantes en el emplazamiento.

Conclusiones y recomendaciones

La principal conclusión es que, a pesar de que las bases de preparación y respuesta a emergencias nucleares siguen siendo válidas en estas situaciones, las centrales nucleares revisarán sus planes de emergencia con el fin de definir los cambios, mejoras y adaptaciones necesarias para afrontar mejor los aspectos específicos relacionados con las emergencias con daño extenso. En este sentido la recomendación es desarrollar una aproximación metodológica a la formación (*Systematic Approach to Training*), que contemple:

- a. Los planes revisados y los procedimientos específicos desarrollados.
- b. Los equipos de emergencia e instalaciones específicas.
- c. El software de apoyo específico para hacer frente a estas situaciones; aplicaciones de realidad virtual, simuladores con módulos de accidente severo, o aplicaciones de apoyo a la toma de decisiones específicas para tales situaciones, serían algunos ejemplos.■

²Organización de respuesta a Emergencia.